



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ:** Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού

**ΤΜΗΜΑ:** Γραφιστικής και Οπτικής Επικοινωνίας

**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ:** Τεχνολογίας Γραφικών Τεχνών

---

**Τροποποίηση της επιφάνειας του αλουμινίου  
με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας εκτύπωσης  
με τη μέθοδο της μεταξοτυπίας**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Όνοματεπώνυμο:** Γαρυφαλλιά Κομπορόζου

**Αριθμός Μητρώου:** 517150040230

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια**  
Δρ. Σταματίνα Θεοχάρη  
**Αν. Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής**

**Αθήνα, Ιούλιος 2021**

### **Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής**

Σταματίνα Θεοχάρη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

Αντιγόνη Καραμάνη, Λέκτορας Εφαρμογών Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

Αντώνης Τσιγώνιας, Ακαδημαϊκός Υπότροφος Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κομπορόζου Γαρυφαλλιά του Ιωάννη με αριθμό μητρώου 15004 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Τμήματος Γραφιστικής και Οπτικής Επικοινωνίας, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της Πτυχιακής μου εργασίας ολοκληρώνεται το ταξίδι των σπουδών μου στο οποίο συνοδοιπόροι μου υπήρξαν πολύ σημαντικοί άνθρωποι, οι οποίοι, με την αγάπη τους για διδασκαλία, με οδήγησαν στο να αγαπήσω και εγώ με τη σειρά μου την σχολή αυτή.

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια Δρ. Σταματίνα Θεοχάρη για την βοήθεια, την υποστήριξη και τον χρόνο που διέθεσε για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Καθηγητή Δρ. Ιακωβίδη Ισίδωρο (Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών) την Μαρία-Γεωργία Νομικού Υποψήφια Δρ. ΠΑΔΑ, τον Αντώνη Νικολαΐδη, Χημικό *Msc*, *FIMF*, CONVEX AEBE (Δ/ση τμημάτων Επιμεταλλώσεων & Ανοδίωσης αλουμινίου), και την Assoc. Prof. Dr. Sc. Sanja Mahović Poljaček, University of Zagreb Faculty of Graphic Arts, Croatia, για την πολύτιμη βοήθεια τους καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στο Εργαστήριο Γραφικών Τεχνών GARDEN SOLUTIONS, τις εταιρείες εκτυπώσεων Atlas Digital και Copy Express, καθώς και την εταιρεία CONVEX για την συμβολή τους στην υλοποίηση του τεχνικού μέρους της μελέτης.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή Μάριο Τσιγώνια και τον Ακαδημαϊκό Υπότροφο Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής Αντώνη Τσιγώνια για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη τους αλλά και την αγάπη για τον κλάδο των Γραφικών Τεχνών που μου μετέδωσαν κατά την διάρκεια φοίτησής μου στην σχολή.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου που παρά τις αντιξοότητες που προέκυψαν αποτέλεσαν στήριγμα κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Αντικείμενο της Πτυχιακής εργασίας είναι η τροποποίηση της επιφάνειας αλουμινίου με την μέθοδο της ανοδικής οξείδωσης με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας της εκτύπωσης με τη μέθοδο της μεταξοτυπίας. Παρουσιάζονται οι μέθοδοι επεξεργασίας της επιφάνειας και πιο αναλυτικά η μέθοδος της ανοδικής οξείδωσης του αλουμινίου, ως βασική μέθοδος τροποποίησης της επιφάνειας και στη συνέχεια, η διαδικασία της εκτύπωσης με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας. Εκτός της συγκεκριμένης μεθόδου εκτύπωσης και για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας πραγματοποιήθηκαν και παρουσιάζονται επίσης εκτυπώσεις με τη Ψηφιακή μέθοδο σε δυο μηχανές. Η συνέχεια της εργασίας περιλαμβάνει μια σειρά εικόνων και διαγραμμάτων από τα αποτελέσματα των ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν, μέσω των οποίων εξηγούνται και σχολιάζονται οι παράμετροι που επελέγησαν κατά την εφαρμογή της μεθόδου της ανοδικής οξείδωσης και στη συνέχεια κατά την εκτύπωση με διαφορετικές τεχνικές, υλικά και μηχανές.. Η μελέτη ολοκληρώνεται με την ανάδειξη των θετικών αποτελεσμάτων και των δυνατοτήτων που διαφαίνονται για χρήση τους σε εμπορικές εφαρμογές, καθώς επιβεβαιώνεται ότι το τελικό προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον τομέα της τέχνης, των εκτυπώσεων και των κατασκευών μετά την κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας του αλουμινίου μέσω της ανοδικής οξείδωσής του.

## Λέξεις κλειδιά

Αλουμίνιο, ανοδική οξείδωση, μελάνια εκτυπώσεων, μεταξοτυπία, ψηφιακή εκτύπωση, έλεγχος ιδιοτήτων, έλεγχος αντοχών, εμπορικές εφαρμογές

## **Abstract**

The thesis studies the modification of the aluminum surface in order to improve the quality of printing with the method of screen printing. The methods of surface treatment are presented and in more detail the method of anodizing of aluminum, as a basic method of surface modification and then the printing process with the method of screen printing. In addition, digital printing was also performed to the anodized surface. The study also includes a series of pictures and diagrams from the tests performed, through which the specimens were evaluated also considering the parameters selected during the anodizing and the printing process. Finally, the study aims to highlight the positive results and possibilities that appear for their use in commercial applications, as it is confirmed that the final product can be used for applications in the field of art, printing and construction after proper preparation of the aluminum surface. through its anodizing.

## **Key Words**

Aluminum, anodizing, printing inks, screen printing, digital printing, adhesion control, solvent resistance test, commercial applications

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή .....	1
1 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	2
Αλουμίνιο.....	3
1.1. Προέλευση Αλουμινίου .....	3
1.2. Παραγωγή αλουμινίου από τον βωξίτη.....	5
1.3. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες αλουμινίου .....	7
1.4. Εφαρμογές αλουμινίου .....	8
2 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	12
Μέθοδοι εκτύπωσης και επιφανειακής επεξεργασίας αλουμινίου .....	13
2.1. Ιστορική αναδρομή .....	13
2.2. Εκτυπωτικές Μέθοδοι.....	14
2.3. Μέθοδοι εκτύπωσης του αλουμινίου .....	14
Φλεξογραφία.....	15
Μεταξοτυπία .....	15
Ψηφιακή εκτύπωση.....	16
Εκτύπωση με Θερμομεταφορά –Εξάχνωση (Sublimation) .....	19
2.4. Ανοδική οξείδωση με σκοπό την τροποποίηση της επιφάνειας του αλουμινίου.....	21
Ιστορική Αναδρομή .....	21
Μέθοδοι Ανοδίωσης .....	21
Μέθοδοι βαφής του αλουμινίου μετά την ανοδίωση.....	23
Ηλεκτρολυτική βαφή ανοδιωμένου αλουμινίου .....	23
Οφέλη της Ανοδικής Οξείδωσης πριν την εκτύπωση του αλουμινίου .....	23
Ειδικές εφαρμογές ανοδικά οξειδωμένου αλουμινίου .....	24
3 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	27
Πειραματικό μέρος: Τροποποίηση της επιφάνειας του αλουμινίου με ανοδική οξείδωση και εκτύπωση με τη μέθοδο της μεταξοτυπίας και την ψηφιακή μέθοδο .....	28
3.1. Ανοδική οξείδωση του αλουμινίου.....	28
3.2. Έλεγχος της ικανότητας διαβροχής και της απορρόφησης του μελανιού από την επιφάνεια του ανοδιωμένου αλουμινίου .....	30
3.3. Επιλογή θέματος προς εκτύπωση και προετοιμασία .....	31
Εκτυπώσεις .....	31
Επιλογή Θέματος Εκτύπωσης και Οπτική Ταυτότητα .....	31
1.Λογότυπο ΠΑΔΑ (LU).....	31
2. Θέματα προς εκτύπωση με την μέθοδο της ψηφιακής εκτύπωσης.....	34
3.4. Διαδικασία Μεταξοτυπίας .....	37

Μεμβράνη Μεταφοράς Θέματος (Film) .....	37
Φωτοευαίσθητο Γαλάκτωμα (Emulsion) .....	38
Φωτομεταφορά του θέματος .....	38
Διορθώσεις (retouch) τελάρου .....	39
Παρασκευή μελανιών .....	41
Εύρεση συμπτώσεων και θέσης θέματος (γώνιασμα).....	47
Διαδικασία Εκτύπωσης.....	48
3.5.Ψηφιακή εκτύπωση.....	50
Ψηφιακή εκτύπωση με την εκτυπωτική μηχανή VUTEk QS3200 .....	50
Εκτύπωση δοκιμίων με την μηχανή Vutek QS3200.....	51
Ψηφιακή εκτύπωση με την εκτυπωτική μηχανή Verve Mini by Colojet.....	53
Εκτύπωση δοκιμίων με την εκτυπωτική μηχανή Verve Mini by Colojet.....	54
4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	55
Έλεγχος ιδιοτήτων εκτυπωμένων δοκιμίων - Αποτελέσματα.....	56
4.1. Έλεγχος Οπτικών Ιδιοτήτων-Απόδοση Χρώματος.....	57
Φασματοφωτόμετρο.....	57
Αποτελέσματα μετρήσεων με το Φασματοφωτόμετρο των δοκιμίων που εκτυπώθηκαν με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας.....	59
Αποτελέσματα μετρήσεων με το Φασματοφωτόμετρο των δοκιμίων που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με την μηχανή VUTEk QS3200.....	62
Αποτελέσματα μετρήσεων με το Φασματοφωτόμετρο των δοκιμίων που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με την μηχανή Verve Mini by Colojet .....	66
4.2. Έλεγχος μηχανικών αντοχών - δοκιμασία χάραξης, πρόσφυσης.....	70
Υλικά Διαδικασίας.....	70
Μεθοδολογία Διαδικασίας .....	70
Αποτελέσματα ελέγχου πρόσφυσης-Μηχανικές αντοχές .....	71
Αποτελέσματα επεξεργασίας των μετρήσεων από τον έλεγχο πρόσφυσης δοκιμίων που εκτυπώθηκαν με την μηχανή Verve Mini by Colojet.....	77
Αποτελέσματα Μετρήσεων δοκιμίων που εκτυπώθηκαν με την μηχανή VUTEk QS3200. ....	81
4.3. Έλεγχος χημικών αντοχών - δοκιμασία σε διαλύτες .....	82
Ανάλυση Αποτελεσμάτων .....	82
Αποτελέσματα ελέγχου αντοχής στους διαλύτες δοκιμίων που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με την εκτυπωτική μηχανή Verve Mini by Colojet.....	83
Αποτελέσματα ελέγχου αντοχής δοκιμίων που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με την εκτυπωτική μηχανή VUTEk QS3200.....	85
Αποτελέσματα ελέγχου αντοχής στους διαλύτες δοκιμίων εκτυπωμένων με τη μέθοδο της μεταξοτυπίας.....	87



4.4. Έλεγχος δοκιμίων με οπτική μικροσκοπία .....	89
Μικροσκοπική παρατήρηση δοκιμίων που εκτυπώθηκαν με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας.....	90
Μικροσκοπική παρατήρηση δοκιμίων που εκτυπώθηκαν ψηφιακά (Vutek QS3200) .....	93
Μικροσκοπική παρατήρηση δοκιμίων που εκτυπώθηκαν ψηφιακά (Verve Mini by Colojet) ....	95
4.5. Σφράγισμα (Sealing): Υδροθερμική κατεργασία εκτυπωμένων δοκιμίων και έλεγχος σε συνθήκες διαβρωτικού περιβάλλοντος (ατμόσφαιρας- έλεγχος δοκιμασίας αλατονέφωσης).....	96
Διεύρυνση του ερευνητικού θέματος και Προβολή της εργασίας στον Διεθνή Ακαδημαϊκό χώρο .....	99
Επίλογος και Συμπεράσματα .....	102
Βιβλιογραφικές Πηγές .....	104
Πηγές Εικόνων.....	108

## Εισαγωγή

Η χρήση του αλουμινίου είναι ευρεία στην καθημερινότητα του σύγχρονου ανθρώπου και αυξάνεται ολοένα και περισσότερο. Βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς κατασκευών, όπως στην αρχιτεκτονική, στην αεροναυπηγική και στη ναυπηγική, στα επίγεια μέσα μεταφοράς, αλλά σε πολυάριθμα είδη καθημερινής χρήσης, όπως μαγειρικά σκεύη, ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές κλπ. Στον κλάδο των Γραφικών Τεχνών το αλουμίνιο απαντάται σε μεγάλο βαθμό στον τομέα της συσκευασίας αλλά και των σημάτων. Ως υλικό είναι φιλικό προς το περιβάλλον εφόσον έχει εξαιρετικές ιδιότητες και αντοχές, μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι ανακυκλώσιμο, γεγονός που συμβάλει στην χρήση του σε ακόμη περισσότερους τομείς. Η αυξημένη ζήτηση του σε συνδυασμό με την διαφορετικότητα των ιδιοτήτων της επιφάνειάς του συγκριτικά με επιφάνειες άλλων υλικών το καθιστά ενδιαφέρον προς μελέτη και ως εκτυπωτικό υπόστρωμα. Στόχος της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η μελέτη της τροποποίησης της επιφάνειας του αλουμινίου μέσω των κατάλληλων μεθόδων, όσο και της εκτύπωσης σε αυτήν. Με την εφαρμογή της ανοδικής οξειδωσης του αλουμινίου μπορεί να δημιουργηθεί μια επιφάνεια κατάλληλη για την πραγματοποίηση τόσο μιας ποιοτικής εκτύπωσης, όσο και μιας επιφάνειας με εξαιρετικές αντοχές σε σχέση με την διάβρωση και την φθορά (μηχανικές φθορές, χημικές κτλ). Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα για περαιτέρω αξιοποίηση της μεθόδου σε εμπορικές εφαρμογές.

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο της εργασίας περιλαμβάνεται αναλυτική παρουσίαση του υποστρώματος του αλουμινίου, και αναφορά στις ιδιότητες, τα χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές του. Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εκτυπωτικές μέθοδοι που είναι κατάλληλες για την επιφάνεια του αλουμινίου και περιγράφονται οι μέθοδοι επεξεργασίας και τροποποίησης της επιφάνειας του αλουμινίου με ιδιαίτερη έμφαση στην μέθοδο της ανοδικής οξειδωσης. Το 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιλαμβάνει το ερευνητικό μέρος της εργασίας με την παρουσίαση των πειραματικών διαδικασιών, δηλαδή την διαδικασία της ανοδικής οξειδωσης, και την εκτύπωση με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας, και την Ψηφιακή εκτύπωση, ενώ ακολουθεί το 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο με τους ελέγχους και τα αποτελέσματα αυτών. Στη συνέχεια αναγράφεται η περίληψη της ερευνητικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Ζάγκρεμπ και έγινε δεκτή μετά από κρίση στο Διεθνές Επιστημονικό Συνέδριο «IC-Athens 2021, 52<sup>nd</sup> International Circle Conferences». Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και ο επίλογος της εργασίας. Η εργασία ολοκληρώνεται με το παράρτημα και την παράθεση βιβλιογραφικών πηγών.

# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

## Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο ή αργίλιο είναι ένα αργυρόλευκο μέταλλο που συμβολίζεται ως Al και ως χημικό στοιχείο έχει ατομικό αριθμό 13. Το αλουμίνιο υπάρχει σε αφθονία στην φύση, είναι το τρίτο χημικό στοιχείο στον φλοιό της Γης μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Χημικά είναι πολύ δραστικό οπότε δεν βρίσκεται ως ελεύθερο μέταλλο στη φύση αλλά ενωμένο με άλλα στοιχεία σε περισσότερα από 270 διαφορετικά ορυκτά. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως η κύρια πηγή για την βιομηχανική παραγωγή του είναι το πέτρωμα του βωξίτη.

### 1.1. Προέλευση Αλουμινίου

Το αλουμίνιο απαντάται ευρέως στη φύση, όχι σε ελεύθερη κατάσταση αλλά σε χημικές ενώσεις μεγάλης χημικής ευστάθειας. Ανατρέχοντας ωστόσο στο παρελθόν, η χρήση του σε ορισμένες μορφές των ενώσεων του είναι ιστορικά τεκμηριωμένη στην Αίγυπτο αλλά και στην Βαβυλώνα. Οι Αρχαίοι Έλληνες και οι Ρωμαίοι γνώριζαν και χρησιμοποιούσαν την στυπτηρία, η οποία είναι ένα διπλό θειικό άλας αργιλίου και καλίου, ενώ επιπλέον αναφέρεται η χρήση αργυλοπυριτικών ενώσεων στην κεραμική (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Η στυπτηρία χρησιμοποιούνταν από τους Έλληνες και τους Ρωμαίους στην κεραμική.

Η ονοματοδοσία του πραγματοποιήθηκε αιώνες μετά, όταν το 1761 ο Guyton de Morveau πρότεινε το όνομα «αλουμίνια» για το οξείδιο του αργιλίου. Στην νεότερη εποχή, ο Βρετανός επιστήμονας Humphry Davy υποστήριξε την ύπαρξη του αλουμινίου το 1807 ενώ η ανακάλυψη του αργιλίου ως χημικό στοιχείο έγινε μεταγενέστερα (1808) από τον ίδιο. Στην πορεία, πολλοί επιστήμονες όπως ο Friedrich Wöhler και ο Henri Étienne Sainte-Claire Deville, ασχολήθηκαν περαιτέρω με το αλουμίνιο (υπολογισμός ειδικού βάρους αλουμινίου και χημική μέθοδος παραγωγής αλουμινίου, αντίστοιχα). Αρχικά το χημικό στοιχείο ονομάστηκε αλούμιο, ωστόσο στη συνέχεια άλλαξε σε αλουμίνιο, ονομασία που χρησιμοποιείται έως και σήμερα, λόγω του ότι προέρχεται από οξείδιο της αλουμίνιας.

Το 1821 ο Γάλλος γεωλόγος Pierre Berthie διαπιστώνει πως το καταλληλότερο μέταλλευμα για την παρασκευή αλουμίνιας είναι ένα ορυκτό από ένυδρη αλουμίνια, ο βωξίτης. Το ορυκτό αυτό βρισκόταν σε σχετικά μεγάλες ποσότητες στην περιοχή της Μεσογείου ενώ πήρε το όνομά του από την πόλη της Γαλλίας, Les Baux in Provence, στην οποία βρέθηκαν πλούσια κοιτάσματά του.

Η απομόνωση του αλουμινίου απασχόλησε για χρόνια τους επιστήμονες μέχρι που το 1825 ο Δανός επιστήμονας Hans Christian Ørsted κατάφερε να το απομονώσει για πρώτη φορά, όταν κατεργάστηκε άνυδρο χλωριούχο αργίλιο με αμάλγαμα καλίου. Στη συνέχεια, ο Hans Christian Ørsted γνωστοποίησε τα αποτελέσματα της έρευνας του στον Γερμανό χημικό Friedrich Wöhler, ο οποίος στη συνέχεια ασχολήθηκε επί 18 χρόνια με την απομόνωση του αλουμινίου. Στο τέλος της μελέτης αυτής είχε εξασφαλίσει μεγάλη ποσότητα από το μέταλλο αυτό, γεγονός που επέτρεψε την μέτρηση του ειδικού του βάρους, κάτι το οποίο συνετέλεσε στον προσδιορισμό μιας από τις σπουδαιότερες ιδιότητες του αλουμινίου, καθώς το μικρό ειδικό βάρος του ( $2,70 \text{ g/cm}^3$ ), είναι μια τιμή πρωτόγνωρη για ένα τόσο σταθερό μέταλλο στις συνήθεις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Επιπλέον, το 1825 ο Friedrich Wöhler, περιγράφει αναλυτικά μια μέθοδο παρασκευής του αργιλίου σε σκόνη από άνυδρο χλωριούχο αργίλιο και κάλιο.

Το νέο αυτό μέταλλο ωστόσο δεν απασχόλησε μόνο τον επιστημονικό κύκλο, αλλά και τον συγγραφικό. Το 1857 ο Charles Dickens είχε γράψει τα εξής: *«Κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων ετών ένας πολύτιμος θεόσταλτος θησαυρός βγήκε από το χώμα και είδε το φως... τι θα λέγατε για ένα μέταλλο λευκό σαν τον άργυρο, αναλλοίωτο σαν τον χρυσό, που τήκεται εύκολα σαν τον χαλκό, σκληρό σαν τον σίδηρο, ελατό και όλκιμο και με τη μοναδική ιδιότητα να είναι ελαφρότερο και από το γυαλί. Ένα τέτοιο μέταλλο υπάρχει και μάλιστα σε μεγάλες ποσότητες στην επιφάνεια της Γης».*



**Εικόνα 2: Η Διεθνής Έκθεση του Παρισιού όπου για πρώτη φορά παρουσιάστηκε το αλουμίνιο.**

Το αλουμίνιο παρουσιάστηκε πρώτη φορά στο κοινό το 1855, στην Διεθνή Έκθεση του Παρισιού (Εικόνα 3). Στην έκθεση αυτή εκτέθηκαν συνολικά δώδεκα ράβδοι αλουμινίου, συνολικού βάρους περίπου ενός χιλιόγραμμου, κοντά στα κοσμήματα του Γαλλικού στέμματος, καθώς το αλουμίνιο ως μέταλλο θεωρούνταν εκείνη την εποχή πολυτιμότερο ακόμη και από τον χρυσό. Εκείνη την περίοδο, ο αυτοκράτορας της Γαλλίας Louis Napoleon III έδειξε μεγάλο ενδιαφέρον για το αργίλιο που το θεωρούσε κατά κάποιο τρόπο ως «εθνικό επίτευγμα». Η τιμή του μετάλλου ήταν απαγορευτική και η χρήση του περιοριζόταν στην κατασκευή πολυτελών σκευών, καθώς η τελευταία και χαμηλότερη τιμή του αλουμινίου, παρασκευασμένου με την μέθοδο Deville, ήταν περίπου 33\$/kg.

Η μεγάλη αλλαγή ήρθε το 1886 με την ταυτόχρονη ανακάλυψη, από τον Αμερικάνο Hall και τον Γάλλο Heroult, της ηλεκτρολυτικής μεθόδου παραγωγής μετάλλου από το οξείδιο του αλουμινίου.

## 1.2. Παραγωγή αλουμινίου από τον βωξίτη

Ο βωξίτης είναι ένα από τα σημαντικότερα πετρώματα για την βιομηχανική παραγωγή του αλουμινίου. Το πέτρωμα αυτό ανακαλύφθηκε και μελετήθηκε από τον Γάλλο γεωλόγο και μεταλλειολόγο Pierre Berthier, την ίδια περίοδο όπου ένας μεγάλος αριθμός επιστημόνων μελετούσε το νέο για την εποχή μέταλλο, το αλουμίνιο. Το 1888, γίνεται πλέον παραγωγή αλουμίνιας από βωξίτη, από τον Carl Josef Bayer ο οποίος εξέλιξε την οικονομική μέθοδο παραγωγής του.



α. Μετάλλευμα βωξίτη.



β. Εξόρυξη βωξίτη.

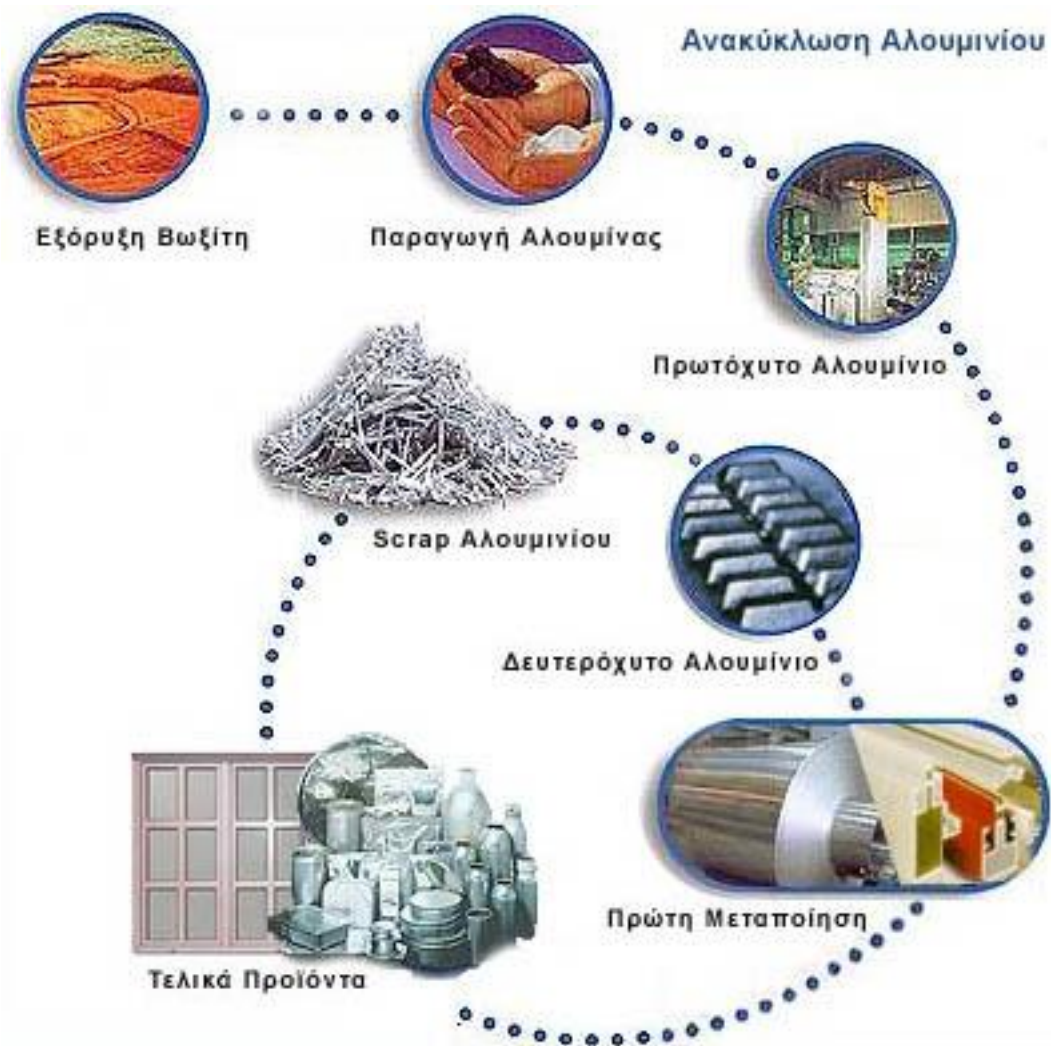
Εικόνα 3(α, β). Το μετάλλευμα του βωξίτη και η εξόρυξή του.

Ο βωξίτης θεωρείται μετάλλευμα που έχει ως κύρια συστατικά υδροξείδια του αργιλίου, υδροξείδια/ οξείδια του σιδήρου και οξείδιο του τιτανίου. Πρόκειται για ένα ιζηματογενές πέτρωμα το οποίο σχηματίστηκε με την αποσάθρωση αργιλοπηριτικών πετρωμάτων.

Ορισμένα χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- ❖ Είναι μαλακό (1-3 σκληρότητα της κλίμακας Mohs)
- ❖ Έχει μικρό ειδικό βάρος, 2,7-3,5 g/cm<sup>3</sup>
- ❖ Έχει κοκκινωπό χρώμα κατά κύριο λόγο, ωστόσο σε ορισμένες περιοχές συναντώνται ανοιχτόχρωμες ή κατά τόπους λευκές ποικιλίες

Οι παραπάνω ιδιότητες βοηθούν στον προσδιορισμό του βωξίτη χωρίς ωστόσο να συνδέονται με την αξία ή την χρησιμότητα του. Αυτό συμβαίνει καθώς, ο βωξίτης είναι ένα υλικό το οποίο κατά κύριο λόγο υποβάλλεται σε επεξεργασίες και έτσι οι φυσικές ιδιότητες του τελικού επεξεργασμένου προϊόντος διαφέρουν από τις ιδιότητες του βωξίτη.



Εικόνα 4. Παραγωγικός κύκλος αλουμινίου.

Αρκετά πλούσια είναι τα κοιτάσματα βωξίτη στην Ελλάδα, συγκεκριμένα στην περιοχή του Παρνασσού. Μερικά από τα επιπλέον ορυκτά που περιέχουν οι βωξίτες είναι τα εξής:

- ❖ χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ )
- ❖ λειμωνίτης ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ )
- ❖ αιματίτης ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
- ❖ μαγνητίτης ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )
- ❖ σιδηρίτης ( $\text{FeCO}_3$ )
- ❖ ίλμενίτης ( $\text{FeTiO}_3$ )
- ❖ ανατάσης ( $\text{TiO}_2$ )
- ❖ καολινίτης ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) κ.λ.π.

Σήμερα, ένα μεγάλο επίτευγμα είναι η σημαντική μείωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης συγκριτικά με την κατανάλωση που απαιτούνταν πριν πολλές δεκαετίες. Παράλληλα οι απαιτήσεις χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή του έχουν μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι βιομηχανίες εκμετάλλευσης του βωξίτη είναι υποχρεωμένες να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα για την περιβαλλοντική αποκατάσταση των περιοχών στις οποίες εργάστηκαν, μετά την εξάντληση των σχετικών κοιτασμάτων.

### 1.3. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες αλουμινίου

Τα χαρακτηριστικά του αλουμινίου δίνουν την δυνατότητα στο μέταλλο αυτό να επιδέχεται επεξεργασία και να αποκτά ποικίλες μορφές.



Εικόνα 5. Μέταλλο αλουμινίου.

Πιο αναλυτικά, ορισμένα χαρακτηριστικά του είναι τα παρακάτω:

- Ως καθαρό υλικό είναι αρκετά εύκαμπτο και μαλακό
- Έχει αργυρόλευκο χρώμα
- Έχει λαμπρή μεταλλική λάμψη που μειώνεται με το χρόνο λόγω δημιουργίας επιφανειακού στρώματος  $Al_2O_3$
- Έχει ειδικό βάρος  $2,7 \text{ gr/cm}^3$  ( $20^\circ\text{C}$ )
- Σημείο τήξης  $660,32^\circ\text{C}$
- Υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα
- Μικρή σκληρότητα, 2,75 στην κλίμακα Mohs
- Το αλουμίνιο καθαρότητας  $> 95\%$  έχει πολύ μικρή μηχανική αντοχή και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται συνήθως σε μορφή κραμάτων.

Τα χαρακτηριστικά αυτά, σε συνδυασμό με τις ιδιότητες του αλουμινίου, το καθιστούν ένα από τα υλικά που επιλέγεται σε μια πληθώρα εφαρμογών.



Επιγραμματικά:

- Είναι εύκαμπτο με πολύ καλή πλαστικότητα, ελατό και όλκιμο, δυνατότητα που του επιτρέπει να μορφοποιείται εύκολα. Μετά από ψυξηλασία ή και κατάλληλη κραμάτωση αυξάνει η σκληρότητά του.
- Το αλουμίνιο είναι μέταλλο που αυτοπροστατεύεται παθητικά, καθώς με την έκθεσή του στην ατμόσφαιρα δημιουργείται άμεσα στην επιφάνεια του ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του, το οποίο είναι υπεύθυνο για την αύξηση της αντοχής του, ενώ ταυτόχρονα εμποδίζει την διάβρωσή του,
- Σε μια περιοχή pH 4-8 είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό
- Η αντοχή του στην διάβρωση είναι μεγάλη, ενώ τα προϊόντα της διάβρωσής του είναι μη τοξικά και άχρωμα,
- Αποτελεί ένα ανανεώσιμο υλικό, γεγονός που το καθιστά πιο φιλικό προς το περιβάλλον σε σύγκριση με άλλα υλικά.

#### 1.4. Εφαρμογές αλουμινίου

Οι εφαρμογές του αλουμινίου ποικίλουν ανάλογα με την επεξεργασία την οποία θα υποστεί το μέταλλο, σε συνδυασμό με τις ιδιότητες του. Πιο συγκεκριμένα, το αλουμίνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εφαρμογές, όπως οι τομείς που αναφέρονται ενδεικτικά παρακάτω:

##### **Τομέας των κατασκευών (αρχιτεκτονική, μέσα μεταφοράς, ναυπηγική και αεροναυπηγική, ενεργειακός τομέας, είδη καθημερινής χρήσης, ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές):**

Το αλουμίνιο και τα κράματα του είναι υλικά με πολλά πλεονεκτήματα, κατάλληλα για την κατασκευή κτιρίων, μέσων μεταφοράς, συσκευών, εξαρτημάτων κλπ. καθώς διαθέτουν ανώτερες μηχανικές ιδιότητες και αντοχή στην διάβρωση. Επιπλέον, η χρήση αλουμινίου, βοηθάει στο σχεδιασμό και την κατασκευή πλοίων και σκαφών με δυνατότητες υψηλής ταχύτητας, μεγάλης διάρκειας ζωής, χαμηλού κόστους συντήρησης, αλλά και υψηλή αξία ανακύκλωσης.

Πιο συγκεκριμένα, στον τομέα της αρχιτεκτονικής, το Empire State Building αναφέρεται ως ένα από τα πρώτα κτίρια που κατασκευάστηκε με τη χρήση του αλουμινίου στο μεγαλύτερο μέρος του.

Επίσης, στον ίδιο τομέα εφαρμογών, το αλουμίνιο αποτελεί μια καλή επιλογή υλικού καθώς βελτιώνει τον πράσινο σχεδιασμό. Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά του είναι η ανθεκτικότητα του κι επίσης, παρέχει καλή μόνωση, ενώ τα ενισχυμένα κράματα αλουμινίου είναι ικανά να υποστηρίξουν μεγάλες γυάλινες κατασκευές στα σύγχρονα κτίρια και τους συλλέκτες ηλιακής ενέργειας.

Άλλες έρευνες έχουν δείξει πως η χρήση εξαρτημάτων αλουμινίου, μπορούν να κάνουν τα οχήματα αλλά και τα θαλάσσια σκάφη ασφαλέστερα λόγω των μηχανικών του αντοχών. Επιπλέον, αποτελούν μια οικονομική λύση, καθώς λόγω του μικρού του βάρους οδηγεί σε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, κι επομένως αποτελεί μια πράσινη λύση που βοηθάει στην προστασία του περιβάλλοντος.

Η ηλεκτρική καλωδίωση με χρήση αλουμινίου ξεκίνησε για πρώτη φορά στις αρχές του 1900, ενώ η χρήση των καλωδίων αυτών αυξήθηκε μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο, αντικαθιστώντας τον χαλκό. Η αντικατάσταση του χαλκού από το αλουμίνιο προέκυψε

καθώς το αλουμίνιο ως μέταλλο έχει μια πληθώρα πλεονεκτημάτων, όπως το κόστος και το βάρος του. Η καλωδίωση με χρήση αλουμινίου αποτελεί μια ολοένα και πιο δημοφιλή επιλογή για επιχειρήσεις αλλά και κατασκευαστές.

Ηλεκτρικές συσκευές όπως το ψυγείο, το πλυντήριο, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής αλλά και το κινητό τηλέφωνο, που βρήκαν ευρεία εφαρμογή μετά το Β΄ παγκόσμιο πόλεμο έχουν ένα κοινό στοιχείο, την χρήση αλουμινίου. Έτσι, πολλές από αυτές τις συνήθεις ηλεκτρικές συσκευές έως τις πιο σύγχρονες εφαρμογές, το αλουμίνιο φαίνεται πως κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος, όχι μόνο για λόγους οικονομίας αλλά και πρακτικότητας.

Τέλος, το αλουμίνιο χρησιμοποιείται αρκετά συχνά στα μαγειρικά σκεύη. Ωστόσο, πολλές είναι οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί και υποστηρίζουν πως χρειάζεται μεγάλη προσοχή στην χρήση μαγειρικών σκευών από αλουμίνιο, καθώς μπορεί να είναι επιβλαβή για τον ανθρώπινο οργανισμό. Αυτό συμβαίνει συνήθως από την χρήση σκευών που είναι κατασκευασμένα από απλό αλουμίνιο, το οποίο δεν έχει καλή προστατευτική επίστρωση. Για το λόγο αυτό, υποστηρίζεται πως μπορούν να χρησιμοποιούνται οικιακά-μαγειρικά σκεύη, τα οποία προέρχονται από ανοδιωμένο αλουμίνιο, καθώς η επίστρωσή του παρέχει μια σκληρή ανθεκτική επιφάνεια, που το προστατεύει από χαράξεις που μπορεί να προέρχονται από το μαγείρεμα ή τον καθαρισμό του σκεύους. Τέλος, η ανοδίωση του αλουμινίου μειώνει τον κίνδυνο επιμόλυνσης των τροφίμων από τη διάβρωση των μαγειρικών σκευών από τα τρόφιμα, κυρίως τα όξινα τρόφιμα, όπως οι ντομάτες.

**Το αλουμίνιο στις Γραφικές Τέχνες:** Η παρουσία του ποικίλει καθώς, μέσα από την επεξεργασία του μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικούς σκοπούς και να δώσει άρτια αποτελέσματα με την σωστή χρήση του. Αναφορικά, μερικοί από τους τομείς που συναντάται το αλουμίνιο στις Γραφικές Τέχνες είναι:

- Ως εκτυπωτική πλάκα στην εκτύπωση Offset,
- Ως στοιχείο κατασκευής των κυλίνδρων βαθυτυπίας,
- Ως εκτυπωτικό υπόστρωμα για εκτυπωτικές εφαρμογές, τομέας που σχετίζεται με εφαρμογές στο χώρο της συσκευασίας και τη σήμανση.

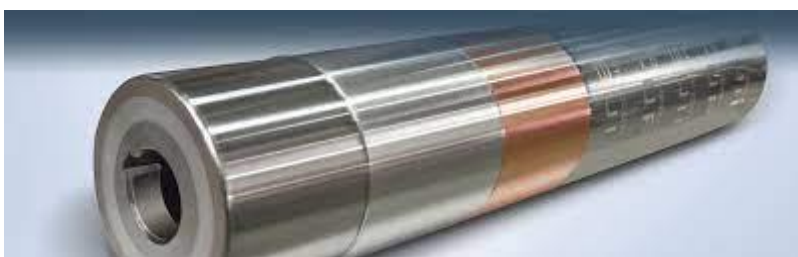


Εικόνα 6. Πλάκα εκτύπωσης αλουμινίου για την Offset.

Πιο αναλυτικά:

Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται στην εκτυπωτική διαδικασία της Offset ως πλάκα εκτύπωσης. Οι πλάκες αλουμινίου (printing plates) είναι λεπτές, έως περίπου 3mm, και κατά κύριο λόγο η κατασκευή τους είναι μονομεταλλική, με χρήση αλουμινίου, ενώ σε ελάχιστες περιπτώσεις, κατά την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται και άλλα είδη μετάλλων, πλαστικού και άλλων υλικών.

Τα τελευταία χρόνια, οι έρευνες επεκτείνονται στη χρήση του αλουμινίου και στον τομέα κατασκευής κυλίνδρων εκτύπωσης. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε μια νέα καινοτομία κυλίνδρων εκτύπωσης με χρήση αλουμινίου, στον τομέα της βαθυτυπίας. Οι σημαντικές ιδιότητες του αλουμινίου πλεονεκτούν σε σχέση με τον χάλυβα που χρησιμοποιούνταν μέχρι πρότινος στην δημιουργία κυλίνδρων.



Εικόνα 7. Κύλινδροι εκτύπωσης από αλουμίνιο.

Στον κλάδο της συσκευασίας των τροφίμων, των αναψυκτικών και της φαρμακοβιομηχανίας, η συσκευασία του αλουμινίου είναι πολύ σημαντική. Το αλουμίνιο επιλέγεται αρκετά συχνά για τις ιδιότητες του καθώς είναι αρκετά ανθεκτικό και προστατευτικό ως προς το περιεχόμενο προϊόν.

Το αλουμίνιο απαντάται στην συσκευασία διαφόρων προϊόντων, όπως ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω:

- ❖ παιδικές τροφές, καφές, προϊόντα γάλακτος,
- ❖ αναψυκτικά, χυμοί,
- ❖ καπνός,
- ❖ φάρμακα, καλλυντικά, κλπ.

Συγκεκριμένα, η συσκευασία από φύλλα αλουμινίου χρησιμοποιείται ευρέως στην συσκευασία τροφίμων. Για παράδειγμα, λαχανικά τα οποία επηρεάζονται από την ηλιακή ακτινοβολία συσκευάζονται με φύλλα αλουμινίου. Επιπλέον αποτελεί ιδανική συσκευασία για γαλακτοκομικά είδη, αναψυκτικά και γενικά προϊόντα που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία. Το αλουμίνιο πέρα από την ιδιότητα του να προστατεύει το περιεχόμενο προϊόν από εξωτερικούς παράγοντες επιλέγεται και λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί κατά την μεταφορά των προϊόντων από το εργοστάσιο στις χώρες εξαγωγής. Στη συσκευασία φαρμάκων έχει σημαντικό ρόλο καθώς το αλουμίνιο ως μέσο συσκευασίας είναι ο μοναδικός τρόπος με τον οποίο, μπορούν να προστατευθούν τα συστατικά που περιέχουν τα φάρμακα, ώστε να διατηρούν την αποτελεσματικότητά τους, κατά την χρήση τους από τον ασθενή. Για την συσκευασία των φαρμάκων χρησιμοποιούνται μαλακά

(εύκαμπτα) αλλά και σκληρά (δύσκαμπτα) φύλλα αλουμινίου, ως φύλλα κάλυψης της συσκευασίας.

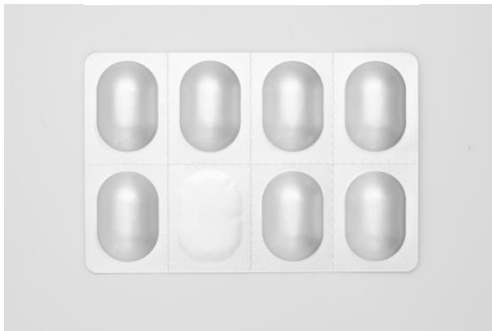
Μια από τις πιο διαδεδομένες χρήσεις του είναι τα δοχεία αναψυκτικών, ποτών και διαφόρων άλλων ειδών, όπως ροφήματα. Λόγω των ιδιοτήτων του, δεν σκουριάζει και προστατεύει το περιεχόμενο προϊόν από την διάβρωση. Σύμφωνα με μελέτες, μπορεί το αλουμίνιο να είναι πιο ακριβό συγκριτικά με ένα γυάλινο δοχείο, ωστόσο στο παραγωγικό στάδιο τα κόστη παραγωγής είναι 3,5% χαμηλότερα κατά τη χρήση αλουμινίου συγκριτικά με την χρήση γυαλιού.



α. Βρεφικές τροφές.



β. Συσκευασία καφέ.



γ. Φαρμακοβιομηχανία.



δ. Καλλυντικά.

Εικόνα 8 (α, β, γ, δ). Το αλουμίνιο στην συσκευασία: α) παιδικές τροφές, β) συσκευασία καφέ, γ) στην φαρμακοβιομηχανία, δ) στα καλλυντικά.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως το αλουμίνιο είναι φιλικό προς το περιβάλλον και επιπλέον ο πιο ανακυκλώσιμος τύπος δοχείου στον κόσμο, καθώς, όσες φορές και να ανακυκλωθεί δεν υποβαθμίζεται η ποιότητα του προϊόντος. Τέλος, για την κατασκευή δοχείων από ανακυκλωμένο αλουμίνιο, απαιτείται 95% λιγότερη ενέργεια συγκριτικά με την παραγωγή δοχείων από πρωτογενές υλικό. Σημειώνεται ότι ως δοχείο συσκευασίας, το αλουμίνιο προστατεύει το περιεχόμενο προϊόν από το οξυγόνο, το φως, την υγρασία κλπ. Συμπερασματικά, το εύρος των εφαρμογών του αλουμινίου ποικίλει, ωστόσο η μελέτη επικεντρώνεται στον τομέα των Γραφικών Τεχνών, όπου απαντάται ως εκτυπωτικό υπόστρωμα (σήμανση, συσκευασίες αναψυκτικών-cans), και ως υλικό κατασκευής πλακών (Offset) και κυλίνδρων εκτύπωσης.

Για να πραγματοποιηθούν οι παραπάνω εκτυπωτικές διαδικασίες είναι απαραίτητο να προηγηθεί η κατάλληλη επεξεργασία της επιφάνειας του αλουμινίου. Επίσης, υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι με τις οποίες είναι δυνατόν να επιτευχθεί η εκτύπωση σε μια επιφάνεια αυτού του είδους, όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

# ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

## Μέθοδοι εκτύπωσης και επιφανειακής επεξεργασίας αλουμινίου

### 2.1. Ιστορική αναδρομή

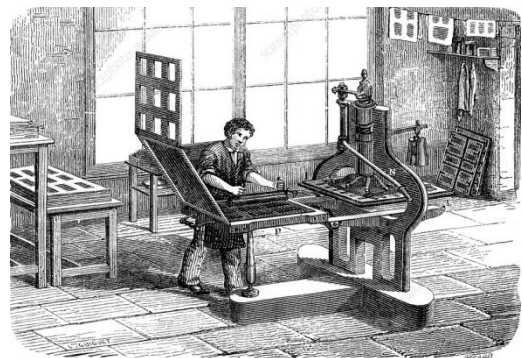
Η τυπογραφία ξεκίνησε τον 15<sup>ο</sup> αιώνα, με την εφεύρεση επίπεδου πιεστηρίου από τον Γουτεμβέργιο. Σύμφωνα με τα όσα έχουν καταγραφεί, ο Γουτεμβέργιος «δανείστηκε» τα κατασκευαστικά στοιχεία του πιεστηρίου των οινοποιών αλλά και την μηχανική διάταξη των βιβλιοδετείων εκείνης της εποχής (πλαίσια, στρόφαλο κλπ.). Χρειάστηκαν αρκετές αλλαγές ώστε το πιεστήριο να μπορεί να υποδεχθεί την εκτυπωτική πλάκα. Μεταγενέστερα, το περιοδικό Time θα αναγνωρίσει την κοινωνική αλλά και πολιτιστική σημασία της εφεύρεσης της τυπογραφίας, ενώ θα την χαρακτηρίσει ως το κρίσιμότερο γεγονός της χιλιετίας.

Μπορούμε να διακρίνουμε την εποχή της έντυπης επικοινωνίας σε τέσσερις περιόδους:

- ❖ Α΄ Περίοδος: 15<sup>ο</sup>-19<sup>ο</sup> αιώνας  
Πραγματοποιείται η εφεύρεση της τυπογραφίας, η κατασκευή εκτυπωτικών πλακών γίνεται χειρωνακτικά παρά το γεγονός ότι η εκτύπωση γίνεται μηχανικά.
- ❖ Β΄ Περίοδος: 19<sup>ο</sup>-20<sup>ο</sup> αιώνας  
Εκμηχάνιση όλων των διαδικασιών παραγωγής εντύπων
- ❖ Γ΄ Περίοδος: Μέσα 20<sup>ου</sup> αιώνα-δεκαετία 1980  
Απόσυρση των μεταλλικών τυπογραφικών στοιχείων και στοιχειοθεσίας θερμού μετάλλου, υιοθέτηση της φωτοστοιχειοθεσίας.
- ❖ Δ΄ Περίοδος: Από την δεκαετία 1980 έως σήμερα  
Ψηφιοποίηση όλων των διαδικασιών, απόσυρση φιλμ, εφεύρεση νέων μεθόδων εκτύπωσης



α. Γουτεμβέργιος.



β. Η αρχή της τυπογραφίας.

Εικόνα 9(α, β). Ο Γουτεμβέργιος και η αρχή της τυπογραφίας.

Παρά το ότι η τυπογραφία εμφανίστηκε για πρώτη φορά τον 15<sup>ο</sup> αιώνα, στο πέρασμα των χρόνων παρουσίασε άλματα προόδου, γεγονός που οδήγησε στην δημιουργία πολλών και διαφορετικών μεθόδων εκτύπωσης.

## 2.2. Εκτυπωτικές Μέθοδοι

Οι μέθοδοι εκτύπωσης που εφαρμόζονται ποικίλουν ανάλογα με το υπόστρωμα πάνω στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η εκτύπωση, το μελάνι, την ποσότητα του τελικού προϊόντος κλπ. Συγκεκριμένα, υπάρχουν οι εξής βασικές κατηγορίες τεχνικών εκτύπωσης:

- ❖ Τυπογραφία
- ❖ Offset (Λιθογραφία)
- ❖ Εκτύπωση με τη μέθοδο ταμπόν
- ❖ Βαθυτυπία
- ❖ Φλεξογραφία
- ❖ Μεταξοτυπία
- ❖ Ψηφιακή εκτύπωση

Στη συνέχεια θα αναφερθούν πιο αναλυτικά οι μέθοδοι εκτύπωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην επιφάνεια του αλουμινίου.

## 2.3. Μέθοδοι εκτύπωσης του αλουμινίου

Η μορφολογία του αλουμινίου διαφέρει σε σχέση με την μορφολογία άλλων εκτυπωτικών υποστρωμάτων. Αυτό συμβαίνει καθώς η επιφάνειά του είναι λεία με αποτέλεσμα να μην μπορεί να συγκρατήσει το μελάνι. Για τον λόγο αυτό πρέπει να υποστεί ορισμένες επεξεργασίες ώστε να δημιουργηθεί μια κατάλληλη (πορώδης) επιφάνεια η οποία θα μπορεί να συγκρατήσει το μελάνι. Με την πάροδο των χρόνων και την εξέλιξη της τεχνολογίας δημιουργήθηκαν πολλοί τρόποι επιφανειακής επεξεργασίας του αλουμινίου, καθώς ανάλογα με το επιθυμητό τελικό προϊόν, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι αντίστοιχοι παράγοντες οι οποίοι θα μας οδηγήσουν στην καλύτερη επιλογή μεθόδου.

*Πιο συγκεκριμένα, μερικοί από τους παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την επιλογή μεθόδου είναι οι εξής:*

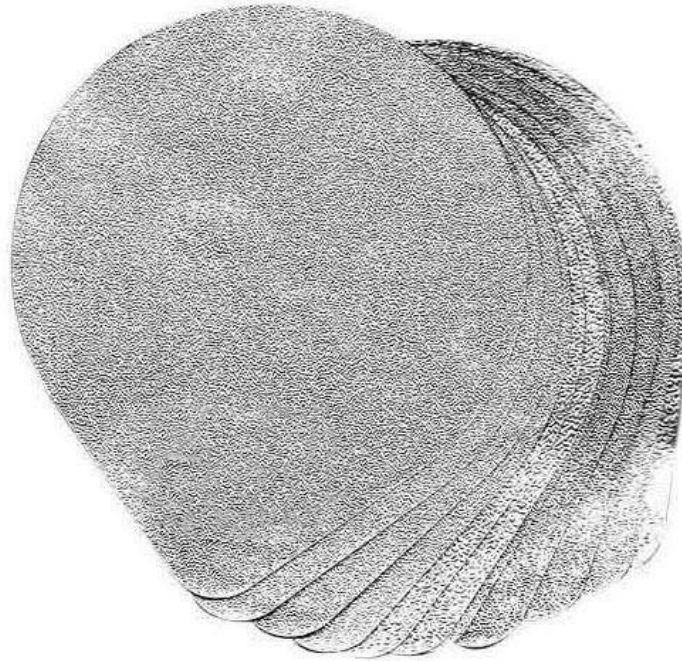
- κατά πόσο είναι εφικτό να εφαρμοστεί η μέθοδος στο επιλεγμένο μέταλλο ή κράμα μετάλλου,
- η επιλογή εκτύπωσης ή βαφής του μετάλλου μετά την μέθοδο επεξεργασίας του κλπ.
- το κόστος της μεθόδου,
- το περιβάλλον έκθεσης του τελικού προϊόντος,

Η πραγματοποίηση της εκτύπωσης στην επιφάνεια του αλουμινίου μπορεί να επιτευχθεί με ποικίλους τρόπους αφού γίνει η κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας (επίστρωση, λάκα κά.). Ενδεικτικά, ορισμένοι από τους τρόπους είναι οι εξής:

1. Φλεξογραφία
2. Μεταξοτυπία
3. Ψηφιακή εκτύπωση, τεχνολογία Inkjet
4. Εκτύπωση με θερμομεταφορά - εξάχνωση (Sublimation)

### Φλεξογραφία

Ανήκει στην μέθοδο της αναγλυφοτυπίας. Αποτελεί μια οικονομική μέθοδο εκτύπωσης ενώ παρέχει ποιοτική απόδοση. Χρησιμοποιείται για ετικέτες και εύκαμπτα είδη συσκευασίας. Η εκτύπωση με την μέθοδο της φλεξογραφίας σε φύλλα αλουμινίου συναντάται κατά κύριο λόγο στη συσκευασία γαλακτοκομικών αλλά και προϊόντων σε υγρή μορφή (σάλτσα, μαρμελάδα κλπ.). Πολλές εταιρείες χρησιμοποιούν επίστρωση (λάκα) στην επιφάνεια αλουμινίου για καλύτερη απόδοση.



Εικόνα 10. Φύλλα αλουμινίου στη συσκευασία γαλακτοκομικών.

### Μεταξοτυπία

Μέθοδος εκτύπωσης η οποία πραγματοποιείται μέσω γάζας η οποία είναι τεντωμένη σε ένα τελάρο. Αποτελεί κατάλληλη μέθοδο εκτύπωσης για την επιφάνεια αλουμινίου έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία αυτής. Στη συνέχεια θα γίνει ανάλυση της μεθόδου (υλικά, διαδικασία).

**Βασικός Εξοπλισμός της μεθόδου:** Όπως σε όλες τις μεθόδους, έτσι και στη μέθοδο της Μεταξοτυπίας υπάρχει ένας βασικός εξοπλισμός ο οποίος περιλαμβάνει:

#### 1. Πλαίσιο

Κατασκευάζεται από υλικό άκαμπτο στις πιέσεις οι οποίες ασκούνται κατά την διάρκεια της διαδικασίας. Τα πλαίσια ποικίλουν σε πάχη και μεγέθη, βασικά υλικά του είναι το ξύλο, το αλουμίνιο, το ατσάλι κλπ.. Επάνω στο πλαίσιο τοποθετείται η γάζα.



## 2. Γάζα

Τα υλικά κατασκευής της γάζας διαφοροποιούνται ανάλογα με τις ανάγκες εκτύπωσης. Τις προηγούμενες δεκαετίες χρησιμοποιούνταν γάζες από μετάξι, την θέση του οποίου πλέον έχουν πάρει συνθετικά υλικά τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στην τριβή, στα μελάνια και τους διαλύτες. Βασικό κριτήριο για την ποιότητα εκτύπωσης είναι ο αριθμός των οπών της γάζας, ενώ ο χαρακτηρισμός τους περιγράφεται ως εξής:

- S, λεπτές οπές και λεπτή κλωστή : 50-70% ανοιχτή επιφάνεια
- M, μέτριες οπές και μέτρια κλωστή : 30-40% ανοιχτή επιφάνεια
- T, χοντρές οπές και χοντρή κλωστή : 35-40% ανοιχτή επιφάνεια
- HD, πολύ ισχυρή κλωστή (μεταλλικό πλέγμα) 20-35% ανοιχτή επιφάνεια

## 3. Σπάτουλα

Η σπάτουλα αποτελεί το μέσο με το οποίο επιχρίεται το μελάνι, μέσω της γάζας στην επιφάνεια εκτύπωσης. Η λεπίδα της κατασκευάζεται κατά κύριο λόγο από ξύλο ή μέταλλο ενώ η λάμα από καουτσούκ. Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχει διαφοροποίηση των ειδών λάμας λόγω της σκληρότητας τους, οπότε αυτή επιλέγεται με γνώμονα την γάζα και το μελάνι.

## 4. Εκτυπωτική Μηχανή

Οι μηχανές εκτύπωσης χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι μηχανές οι οποίες ανάλογα με τον τρόπο εισαγωγής της επιφάνειας εκτύπωσης χωρίζονται σε κυλινδρικές και επίπεδες. Στην δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται οι μηχανές οι οποίες διακρίνονται με βάση τον τρόπο λειτουργίας τους, σε χειροκίνητες, ημιαυτόματες και αυτόματες.

### Ψηφιακή εκτύπωση

Η μέθοδος της ψηφιακής εκτύπωσης αποτελεί μια σύγχρονη μέθοδο, η οποία για λόγους που θα αναφερθούν και στη συνέχεια, επιλέγεται όλο και πιο συχνά. Κατά τη μέθοδο αυτή γίνεται χρήση ψηφιακού αρχείου το οποίο οδηγείται προς εκτύπωση. Είναι μια εναλλακτική επιλογή εκτυπωτικής διαδικασίας η οποία παρακάμπτει πολλά από τα στάδια των παραδοσιακών εκτυπωτικών μεθόδων (δημιουργία φιλμ, δημιουργία εκτυπωτικής πλάκας κλπ.).

Ένα από τα οφέλη της ψηφιακής εκτύπωσης είναι το κόστος αυτής και η δυνατότητα εκτύπωσης μικρότερου πλήθους αντιτύπων. Για παράδειγμα, η εκτυπωτική μέθοδος της Offset δεν αποτελεί οικονομική επιλογή για εκτύπωση π.χ. 500 αντιτύπων, γεγονός που παλαιότερα αποτελούσε πρόβλημα για τις μικρές επιχειρήσεις. Με την ψηφιακή εκτύπωση δεν υφίσταται πλέον το πρόβλημα αυτό, επιπλέον χρησιμοποιείται και σε συνδυασμό με άλλες εκτυπωτικές μεθόδους για λόγους προσωποποίησης των αντιτύπων ανάλογα με το επιθυμητό τελικό προϊόν.

Ένας επιπλέον λόγος είναι ο χρόνος ολοκλήρωσης της εκτυπωτικής διαδικασίας ο οποίος είναι εμφανώς μικρότερος συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους εκτύπωσης.



Εικόνα 11. Μηχανή ψηφιακής εκτύπωσης.

Τα μελάνια που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση διαφέρουν ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκτύπωσης. Στην ψηφιακή εκτύπωση συναντώνται τρεις βασικές κατηγορίες:

- 1.Μελάνια Διαλύτη
2. Μελάνια υδατικής βάσης
- 3.Μελάνια UV
- 4.Υβριδικά Μελάνια

Η επεξεργασία ή επίστρωση της επιφάνειας του αλουμινίου είναι απαραίτητη και στην ψηφιακή εκτύπωση.

Στις μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτύπωση των δοκιμίων χρησιμοποιούνται μελάνια UV.

Τα UV μελάνια κατά κύριο λόγο σε εφαρμογές εσωτερικού χώρου, όπως για παράδειγμα: αφίσες, σήμανση κλπ. Η εφαρμογή τους ποικίλει ανάλογα με τα υποστρώματα, όπως για παράδειγμα γυαλί, ξύλο, αφρώδες υλικό, αλουμίνιο. Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα χρήσης υλικών για βιομηχανικές εφαρμογές, που υπό άλλες συνθήκες θα ήταν απαγορευτικά. Αξίζει να γίνει αναφορά στα πλεονεκτήματα αυτών των μελανιών σε σύγκριση με τα μειονεκτήματά τους καθώς αποτελούν μια κατηγορία μελανιών που χρησιμοποιείται ολοένα και πιο συχνά πλέον.

#### Πλεονεκτήματα UV μελανιών:

- Χρήση μικρότερης ποσότητας μελανιών λόγω του ιξώδους των μελανιών αλλά και λόγω της απουσίας διείδυσης του μελανιού στο υπόστρωμα,
- Γρήγορη σταθεροποίηση του μελανιού χωρίς να απαιτείται επιπλέον ξήρανση του,
- Κατάλληλα για γρήγορες εκτυπώσεις δύο όψεων,
- Υψηλή μηχανική αντοχή κατά την διαδικασία της εκτύπωσης,
- Υψηλής ανάλυσης εκτυπωτικά αποτελέσματα,

- Κατάλληλα για υποστρώματα με ευαισθησία στην θερμότητα,
- Δεν περιέχουν διαλύτες.
- Η διαδικασία σκλήρυνσης των UV μελανιών απαιτεί λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο στην πηγή κατάλληλης ακτινοβολίας, επιτρέποντας την εξοικονόμηση χρόνων παραγωγής ενώ ταυτόχρονα μπορεί να εξασφαλιστεί και μείωση στην κατανάλωση ενέργειας.

#### Μειονεκτήματα UV μελανιών:

- Είναι επιβλαβή πριν την εφαρμογή τους και για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η προστασία των εργαζομένων στις μηχανές αυτές,
- Υψηλότερη τιμή αγοράς μελανιών UV σε αντίθεση με τα συμβατικά μελάνια,
- Υψηλές τιμές αγοράς και συντήρησης εξοπλισμού UV,
- Τα απορρίμματα χαρτιού που προκύπτουν μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης πρέπει να διαχωρίζονται στο τυπογραφείο και ενδεχομένως να απαιτείται να απορριφθούν ως επικίνδυνα απόβλητα.

#### Ψηφιακή Τεχνολογία Inkjet (Tonejet, Durajet κλπ.):

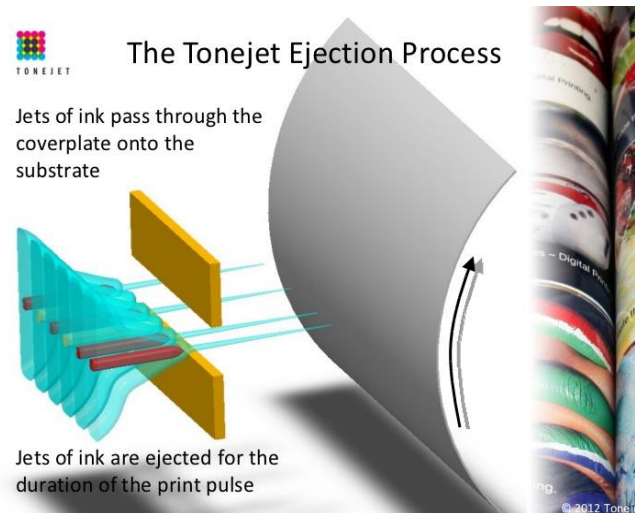
Η τεχνολογία αυτή εφευρέθηκε λόγω της ανάγκης εκτύπωσης σε δοχεία αλουμινίου. Τα δοχεία αλουμινίου εμφανίστηκαν πρώτη φορά το 1958, όπου ταυτόχρονα δύο εταιρείες άρχισαν να προσφέρουν μύρα σε αυτού του είδους τα δοχεία. Αρχικά, η Kaiser Aluminium προσάρμοσε μια διαδικασία παραγωγής, η οποία χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή κονσέρβας, στο αλουμίνιο. Η δεύτερη εταιρεία, η Adolph Coors Co, δημιούργησε το 1954 μια κοινοπραξία σε συνεργασία με τη Beatrice Foods Co, με ονομασία Aluminium International Inc., που είχε στόχο την κατασκευή δοχείων ποτών από αλουμίνιο. Μέχρι και σήμερα, υπάρχει διαμάχη μεταξύ των δύο εταιρειών σχετικά με το ποια από τις δύο ξεκίνησε πρώτη την χρήση δοχείων αλουμινίου. Η χρήση των δοχείων αλουμινίου από την Coca-Cola και την Pepsi άρχισε το 1967. Το δοχείο αλουμινίου είναι κατασκευασμένο από κράμα αλουμινίου το οποίο περιέχει:

- ❖ 1% μαγνήσιο
- ❖ 1% μαγγάνιο
- ❖ 0,4% σίδηρο
- ❖ 0,2% πυρίτιο
- ❖ 0,15% χαλκό

Οι βιομηχανίες ποτών αυξήθηκαν, παράλληλα άρχισε να αυξάνεται και η χρήση των δοχείων αλουμινίου. Για την εκτύπωση εφαρμόζονταν αρχικά οι εκτυπωτικές μέθοδοι της Φλεξογραφίας και της Offset, δύο διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για μεγάλο αριθμό αντιτύπων (100.000 τεμάχια), ενώ παράλληλα λόγω της φύσης τους είναι αρκετά ακριβές. Το γεγονός αυτό προκαλούσε πρόβλημα σε μικρές βιομηχανίες οι οποίες είχαν μικρότερη παραγωγή (2.000 τεμάχια). Επιπλέον, αυξήθηκε η ανάγκη των εταιρειών για τη

δημιουργία προϊόντων σε συλλεκτική έκδοση για συσκευασία περιορισμένου αριθμού τεμαχίων.

Για τους παραπάνω λόγους, ήταν επιτακτική η ανάγκη για την δημιουργία μιας μεθόδου εκτύπωσης, η οποία θα εφαρμόζεται απευθείας επάνω στο δοχείο αλουμινίου. Η τεχνολογία ψηφιακής τεχνολογίας Inkjet δημιούργησε ένα πιο πρόσφορο έδαφος στον τομέα της εκτύπωσης δοχείων αλουμινίου, ακόμη και για μικρές βιομηχανίες ποτών.



Εικόνα 12. Μέθοδος Inkjet.

Η τεχνολογία αυτή δεν βοήθησε μόνο τις μικρές επιχειρήσεις αλλά και τις μεγάλες πολυεθνικές, καθώς λόγω μάρκετινγκ, εκδηλώσεων, διαγωνισμών κλπ., έπρεπε να στραφούν σε άλλες μεθόδους παραγωγής. Η μέθοδος εφευρέθηκε το 1993 από τον Luis Lima-Marques. Αποτελεί μια τεχνολογία εκτύπωσης inkjet on demand, η οποία επιτρέπει την άμεση ψηφιακή εναπόθεση μελανιού εκτύπωσης στο υπόστρωμα. Στοχεύει σε εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Είναι μια ηλεκτροστατική τεχνολογία η οποία είναι ικανή να εφαρμοσθεί σε όλους τους τύπους υποστρώματος, απορροφητικούς και μη. Για το λόγο αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτύπωση του αλουμινίου. Η διαδικασία αυτή γίνεται με υψηλή ταχύτητα. Η συγκέντρωση και η εκτόνωση σωματιδίων από ένα πραγματοποιείται με ηλεκτροστατικό τρόπο από ένα υγρό. Από την κεφαλή της εκτύπωσης εφαρμόζεται ηλεκτρική δύναμη απευθείας στα φορτισμένα σωματίδια μελανιού. Ο χρόνος εφαρμογής του ηλεκτρικού παλμού είναι ανάλογος της ποσότητας του μελανιού που εξάγεται. Πριν την εξαγωγή των σταγονιδίων, το μελάνι συγκεντρώνεται και εκτοξεύεται στο υπόστρωμα, με συνεχή έλεγχο στην κλίμακα του γκρι. Η κεφαλή εκτύπωσης είναι μια τρισδιάστατη δομή, η οποία αποτελείται από πλευρικά τοιχώματα, κανάλια ροής και ακροφύσια.

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν στην επιφάνεια του αλουμινίου εφόσον αυτή υποστεί ορισμένες επεξεργασίες ώστε να δημιουργηθεί πορώδες στην επιφάνεια.

### Εκτύπωση με Θερμομεταφορά -Εξάχνωση (Sublimation)

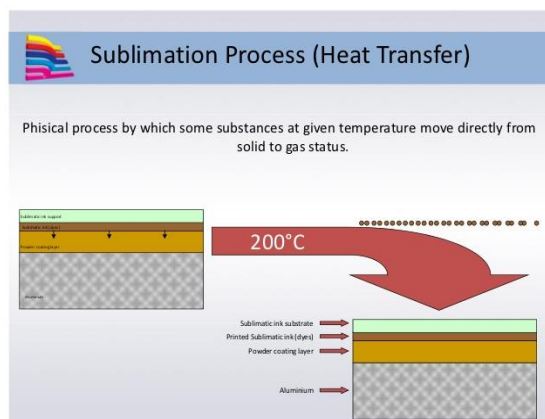
Η μέθοδος της εκτύπωσης με θερμομεταφορά ή εξάχνωση είναι μια μέθοδος που γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια. Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για διακοσμητικές εφαρμογές σε διάφορα υποστρώματα (ύφασμα, μέταλλο, γυαλί, πλαστικό,

βινύλιο, νάιλον, ξύλο, ακρυλικό κλπ.) για την απομίμηση του χρώματος και της υφής ποικιλίας υλικών, μαρμάρου, ξύλου, κτλ. καθώς επίσης, για τον χρωματισμό (βαφή) υποστρωμάτων αλουμινίου.

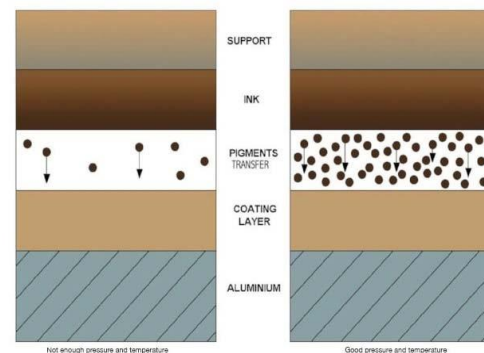
Αποτελεί μια ιδιαίτερη διαδικασία κατά την οποία τα στερεά σωματίδια (χρωστικών) μετατρέπονται σε αέρια, χωρίς να περάσουν από την υγρή φάση. Ουσιαστικά είναι μια μέθοδος η οποία πραγματοποιείται με την βοήθεια ειδικών φιλμ στην επιφάνεια του υποστρώματος και μπορεί να προσδώσει στο υπόστρωμα ένα διαφορετικό χρώμα ή εκτυπωμένο σχέδιο.

### Διαδικασία Εκτύπωσης με Θερμομεταφορά

Αρχικά, εφαρμόζονται μια σειρά από χημικές προεργασίες στην επιφάνεια του ακατέργαστου αλουμινίου. Στην τεχνική αυτή της εξάχνωσης, το θέμα προς εκτύπωση δεν τυπώνεται κατευθείαν στο υπόστρωμα, στην συγκεκριμένη περίπτωση, στην επιφάνεια αλουμινίου. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένα ειδικό χαρτί, πάνω στο οποίο εκτυπώνεται ως κατοπτρική εικόνα το θέμα. Κατά την εκτύπωση πάνω στο χαρτί, η οποία γίνεται ψηφιακά (inkjet), χρησιμοποιούνται ειδικά μελάνια.



α. Διαδικασία θερμομεταφοράς.



β. Επιφάνεια αλουμινίου.

Εικόνα 13(α, β). Διαδικασία θερμομεταφοράς (Sublimation).

Στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας, το ειδικό χαρτί- μεμβράνη μεταφοράς, το οποίο συγκρατεί το θέμα προς εκτύπωση, εφαρμόζεται επάνω στο υπόστρωμα αλουμινίου και στη συνέχεια, πραγματοποιείται η διαδικασία της εξάχνωσης, όπου υπό πίεση και υψηλή θερμοκρασία τα μελάνια εξαχνώνονται και διεισδύουν στο υπόστρωμα.

Έπειτα, το υπόστρωμα αλουμινίου εξάγεται από τη μηχανή μαζί με την μεμβράνη, η οποία πλέον μπορεί να αφαιρεθεί από το υπόστρωμα με σχετική ευκολία. Αυτό αποτελεί το τελικό στάδιο της διαδικασίας, καθώς δεν χρειάζεται, μετά την ολοκλήρωση του κάποια επιπλέον επίστρωση προστασίας.

## 2.4. Ανοδική οξείδωση με σκοπό την τροποποίηση της επιφάνειας του αλουμινίου

Η ανοδική οξείδωση (ανοδίωση) αποτελεί μια μέθοδο επιφανειακής επεξεργασίας του μετάλλου με σκοπό την προστασία από τη διάβρωση, την αύξηση της αντοχής στην τριβή, τη βελτίωση της πρόσφυσης χρωμάτων και το διακοσμητικό φινίρισμα.

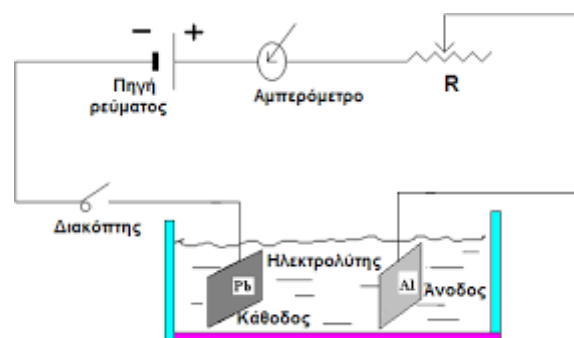
Συνίσταται στην ηλεκτρολυτική μέθοδο δημιουργίας ενός λεπτού στρώματος οξειδίου στην επιφάνεια του αλουμινίου, που χρησιμεύει ως άνοδος σε ένα κατάλληλο ηλεκτρολυτικό στοιχείο. Οι ιδιότητες της επιφάνειας όπως το πορώδες, η αντοχή στην τριβή, το χρώμα κτλ. εξαρτώνται από τον τύπο, τη συγκέντρωση και τη θερμοκρασία του ηλεκτρολύτη, την ισχύ του ηλεκτρικού ρεύματος και τον χρόνο επεξεργασίας, καθώς και από τον τύπο του μετάλλου ή του κράματος που οξειδώνεται.

### Ιστορική Αναδρομή

Την δεκαετία του 1920, το αλουμίνιο μετατράπηκε σε ένα από τα πιο σημαντικά μέταλλα της εποχής, ανατρέποντας τα μέχρι τότε δεδομένα. Την εποχή εκείνη δημιουργήθηκε η ανάγκη εύρεσης μεθόδων για την βελτίωση, την προστασία αλλά και τον χρωματισμό της επιφάνειας του. Μια από τις πρώτες, και πιο σημαντική, ήταν η εφαρμογή της διαδικασίας ανοδίωσης, καθώς αυτή μετέτρεπε την επιφάνεια του μετάλλου σε ένα εξαιρετικά σκληρό και ανθεκτικό προϊόν αλουμινίου.

### Μέθοδοι Ανοδίωσης

Η ανοδική οξείδωση (ανοδίωση) του αλουμινίου είναι από τις πιο σημαντικές μεθόδους επιφανειακής επεξεργασίας του αλουμινίου, καθώς του προσδίδει αντοχή κατά την έκθεση στους εξωτερικούς παράγοντες.



Εικόνα 14. Λουτρό ανοδικής οξείδωσης.

Κατά την ανοδική οξείδωση στο υπόστρωμα του αλουμινίου δημιουργείται ένα στρώμα οξειδίου το οποίο του παρέχει ιδιότητες, όπως συγκεκριμένα:

- ❖ πλήρη επιφανειακή προστασία,
- ❖ σταθερή προστασία από την επίδραση καιρικών συνθηκών, που δεν μεταβάλλεται, εφόσον το πάχος του και το σφράγισμά του είναι κατάλληλο,

- ❖ πολύ υψηλότερη σκληρότητα και τριβή σε σχέση με το μέταλλο,
- ❖ σταθερότητα στην περιοχή pH 5-8,
- ❖ διαφάνεια, που εξαρτάται από τρεις παράγοντες: i. την μέθοδο ανοδίωσης, ii. το πάχος του οξειδίου, iii. την σύνθεση του κράματος.

Τέσσερις είναι οι μέθοδοι ανοδίωσης που έχουν πρακτική εφαρμογή και συγκεκριμένα:

- ❖ Η μέθοδος χρωμικού οξέος
- ❖ Η μέθοδος θειικού οξέος
- ❖ Η έγχρωμη ανοδίωση
- ❖ Η σκληρή ανοδίωση

Οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν σχετίζονται με τα επιθυμητά αποτελέσματα του τελικού προϊόντος, πιο αναλυτικά :

**Μέθοδος χρωμικού οξέος:** Η μέθοδος αυτή δίνει μαλακά, θαμπά και λεπτά στρώματα (πάχους 2-3 μm), που ωστόσο παρουσιάζουν αντίσταση στην διάβρωση. Κύριο πλεονέκτημα είναι η διατήρηση των διαστάσεων του αντικειμένου. Κάτι τέτοιο είναι κυρίως επιθυμητό σε αντικείμενα στα οποία είναι αναγκαία η προστασία της επιφάνειας χωρίς ωστόσο να παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές στις διαστάσεις.

**Μέθοδος θειικού οξέος:** Η μέθοδος θειικού οξέος είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος και χρησιμοποιείται κυρίως για την ανοδίωση αλουμινίου στην αρχιτεκτονική αλλά και σε άλλες εφαρμογές. Στην συγκεκριμένη μέθοδο ανοδίωσης σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του ανοδικού οξειδίου είναι ο τύπος του κράματος του αλουμινίου που χρησιμοποιείται, η σύνθεση, η ανάδευση, και η θερμοκρασία του λουτρού, καθώς και οι παράμετροι του ηλεκτρικού ρεύματος που θα εφαρμοστεί. Τέλος, ο χρόνος που διαρκεί η διαδικασία της ανοδίωσης καθορίζει το πάχος του οξειδίου. Σε έναν από τους πιο κοινούς τύπους ανοδίωσης χρησιμοποιείται λουτρό θειικού οξέος 15% κ.β.

**Έγχρωμη ανοδίωση:** Είναι μια παραλλαγή της σκληρής ανοδίωσης. Πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι το τελικό προϊόν εμφανίζεται χρωματισμένο σε μαύρες ή καφέ αποχρώσεις, οι οποίες είναι ανθεκτικές. Η τελική απόχρωση του επιστρώματος εξαρτάται από το είδος του κράματος και αυτό καθιστά δύσκολη την σταθερή και ελεγχόμενη απόχρωσή του.

**Σκληρή ανοδίωση:** Στη συγκεκριμένη μέθοδο, που πραγματοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες, το στρώμα οξειδίου που δημιουργείται, είναι σκληρό, συμπαγές, λιγότερο πορώδες ενώ παρουσιάζεται ημιδιαφανές ή θολό σε γκρίζες αποχρώσεις. Για το λόγο αυτό το τελικό προϊόν προορίζεται για ειδικές εφαρμογές. Η λειτουργία της μεθόδου βασίζεται στο λουτρό στο οποίο εμβαπτίζονται τα δοκίμια ώστε να πραγματοποιηθεί η ηλεκτρόλυση. Τα διαλύματα περιέχουν οξέα, στα οποία συμβαίνει ηλεκτρόλυση με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος. Κατά το στάδιο αυτό, απελευθερώνονται ιόντα οξυγόνου στην επιφάνεια του αλουμινίου, που αντιδρούν με το αλουμίνιο και δημιουργούν το ανοδικό οξείδιο.

### Αρχή της μεθόδου της ανοδικής οξειδωσης:

Κάθοδος:  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$

Ανοδος:  $2\text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2 \uparrow + 2\text{e}^-$

Το πάχος του οξειδίου που σχηματίζεται είναι καλύτερης ποιότητας από το φυσικό ενώ μπορεί να φτάσει μέχρι και 100  $\mu\text{m}$  ( $1\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ), εν αντιθέσει με το πάχος του φυσικού οξειδίου που είναι μικρότερο από 1  $\mu\text{m}$ .

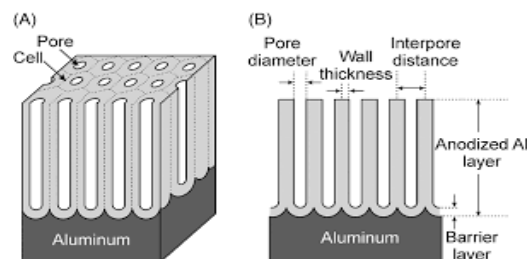
### **Μέθοδοι βαφής του αλουμινίου μετά την ανοδίωση**

Οι μέθοδοι βαφής ανοδιωμένου αλουμινίου ποικίλουν ενώ θα αναφερθούν και θα αναλυθούν ορισμένοι από αυτές. Οι ουσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- ❖ Ανόργανα πιγμέντα
- ❖ Οργανικές χρωστικές



α. Λουτρό ανοδικής οξειδωσης.



β. Η επιφάνεια του αλουμινίου μετά την ανοδική οξειδωση.

Εικόνα 15(α, β). Ανοδική οξειδωση.

### **Ηλεκτρολυτική βαφή ανοδιωμένου αλουμινίου**

Κατά την ηλεκτρολυτική βαφή πραγματοποιείται απόθεση ιόντων μετάλλων στους πόρους του ανοδικού οξειδίου του αλουμινίου με την χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος, κατά την διαδικασία αυτή εμφανίζονται διαφορετικές αποχρώσεις ανάλογα με την επιλογή του ηλεκτρολύτη. Η εμφάνιση της παρουσιάστηκε το 1936 με τις πρώτες προσπάθειες να γίνονται από τον Caboni. Μια σημαντική αλλαγή για τη μέθοδο της ηλεκτρολυτικής βαφής ήταν η δυνατότητα χρήσης συνεχούς ρεύματος κατά την διαδικασία. Σημαντικό πλεονέκτημα της αλλαγής αυτής είναι η αυξημένη ταχύτητα με την οποία πραγματοποιείται η μέθοδος, συγκριτικά με την κλασσική μέθοδο εναλλασσόμενου ρεύματος, και ταυτόχρονα είναι πιο οικονομική και έχει καλή απόδοση.

### **Οφέλη της Ανοδικής Οξειδωσης πριν την εκτύπωση του αλουμινίου**

Σε κάθε μελέτη, είναι απαραίτητο να απαριθμούνται τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα κάθε μιας από τις μεθόδους που μπορούν να εφαρμοσθούν για την υλοποίηση της. Η μέθοδος της ανοδίωσης, παρέχει πολλά οφέλη, τα οποία παρουσιάζουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, όταν πραγματοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών. Αρχικά, το πιο σημαντικό όφελος είναι η αντοχή των παραγόμενων



προϊόντων. Τα ανοδιωμένα τελικά προϊόντα στην πλειοψηφία τους, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, ενώ και από οικονομικής άποψης, έχουν σημαντικά οικονομικά πλεονεκτήματα καθώς συντελούν στην εξοικονόμηση του κόστους για την συντήρησή τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η διαδικασία ανοδίωσης ακολουθείται από τον χρωματισμό του ανοδιωμένου προϊόντος ή ακόμα από την εκτύπωση του. Για τον λόγο αυτό, είναι αναγκαίο να εξασφαλιστεί η σταθερότητα του χρώματος. Αρχικά θα πρέπει να υπάρχει καλή πρόσφυση του χρώματος με την ανοδική επιφάνεια του οξειδίου του αλουμινίου αλλά και σταθερότητα στην ακτινοβολία, αποτρέποντας τόσο την απομάκρυνση του χρώματος από τη επιφάνεια όσο και την αλλοίωση της απόχρωσής του. Επίσης, θα πρέπει να υπάρχει μεγάλη ευκολία στη συντήρηση του εκτυπωμένου προϊόντος. Οι φθορές που δημιουργούνται κατά τον χειρισμό, την τοποθέτηση (όταν πρόκειται για ταμπέλες σήμανσης) αλλά και τον καθαρισμό τους πρέπει να μπορούν να αντιμετωπίζονται εύκολα, γρήγορα και με ήπια μέσα (όπως με ήπια καθαριστικά, σαπούνη και νερό). Τέλος, η αισθητική είναι ένα από τα σημαντικά οφέλη της μεθόδου αυτής, καθώς σε αντίθεση με άλλες μεθόδους επεξεργασίας της επιφάνειας αλουμινίου, η μέθοδος επιτρέπει στο αλουμίνιο να διατηρεί την μεταλλική του εμφάνιση.

### Ειδικές εφαρμογές ανοδικά οξειδωμένου αλουμινίου

#### 1. Ανοδιωμένο αλουμίνιο και Τέχνη

Οι μελέτες για την επεξεργασία μιας μεταλλικής επιφάνειας προέκυψαν από την ανάγκη για την διακόσμηση και την προστασία της για διάφορες εφαρμογές. Μια από αυτές αφορά και την εκτύπωση και μάλιστα όταν απαιτείται η εκτυπωμένη μεταλλική επιφάνεια να μένει αναλλοίωτη στο χρόνο και να μην επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες.

Πολλοί είναι αυτοί που ασχολούνται με την επεξεργασία και την διακόσμηση σε μεταλλικές επιφάνειες, ωστόσο οι περισσότεροι επικεντρώνονται σε τομείς, όπως η συσκευασία, η αρχιτεκτονική κλπ. Τα τελευταία χρόνια, σε μια προσπάθεια εξέλιξης της μεθόδου, παρατηρείται πως πλέον η εκτύπωση πάνω σε ανοδιωμένο αλουμίνιο συναντάται σε έναν ακόμη σημαντικό χώρο, τον χώρο της τέχνης!



α. Έργο πάνω σε ανοδιωμένη επιφάνεια αλουμινίου.



β. Έργο πάνω σε ανοδιωμένη επιφάνεια αλουμινίου.

Εικόνα 16 (α, β). Μερικά από τα έργα του O Naim Akhtar που παρουσιάστηκαν στην 16<sup>η</sup> ετήσια έκθεση και συνέδριο ανοδίωσης (α, β).

Ο Naim Akhtar, ιδρυτής της επιχείρησης Gulf Extrusions Co., Dubai, United Arab Emirates, έκανε χρήση μεταλλικών επιφανειών (αλουμινίου), οι οποίες, αφού ανοδιώθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία ενός πορτραίτου, ενός τοπίου αλλά και ενός έργου αφηρημένης τέχνης. Μερικά από τα έργα του παρουσιάστηκαν στην 16<sup>η</sup> Ετήσια Παγκόσμια Συνάντηση για την ανοδίωση και είχαν ως βασική ιδέα εικόνες από τη δομή του ανοδικά οξειδωμένου αλουμινίου, όπως φαίνονται από το μικροσκόπιο. Το συνέδριο πραγματοποιήθηκε το 2007 στο Lincolnshire.

Η διαδικασία που χρησιμοποιείται είναι αρκετά απλή, ωστόσο παρέχει ενδιαφέρον αισθητικό αποτέλεσμα. Ο Akhtar συμπεριφέρεται στην επιφάνεια αλουμινίου, όπως και σε έναν καμβά. Σχεδιάζει το θέμα επάνω σε μη επεξεργασμένη- σφραγισμένη επιφάνεια ανοδιωμένου αλουμινίου. Ανάμεσα στα εργαλεία για την μεταφορά του χρώματος στην επιφάνεια αλουμινίου, χρησιμοποιεί συνήθως απλά υλικά, όπως σφουγγάρια, πινέλα με μαλακή τρίχα και νερομπογιές αλλά και τεχνικές ψεκασμού. Επιπλέον, για να πετύχει ειδικά εφέ χρησιμοποιεί μια υγρή τεχνική (wet-on-wet). Τέλος, η διαδικασία ολοκληρώνεται με το σφράγισμα της επιφάνειας αλουμινίου σε διάστημα 50 λεπτών έως και μίας ώρας. Κατά το σφράγισμα, η εκτυπωμένη ή βαμμένη επιφάνεια του μετάλλου προστατεύεται από διάφορους πιθανούς παράγοντες αλλοίωσης.

## **2. Ανοδιωμένο Αλουμίνιο στην καθημερινότητα**

Στην κοινότητα Mirabella Portland στο κέντρο του South Waterfront διαμένουν κατά κύριο λόγο συνταξιούχοι. Μέσω της εταιρείας Sara Architectural Products, δόθηκε στον οικισμό αυτό μια ειδική κατασκευή, ειδικά σχεδιασμένη για τον χώρο στον οποίο τοποθετήθηκε. Η κατασκευή αυτή προέρχεται από ανοδιωμένο αλουμίνιο, σε μαύρο χρώμα. Σκοπός της κατασκευής αυτής ήταν να δημιουργηθεί μια ειδική πέργκολα αλουμινίου, που θα αποτελέσει τον θόλο γιαμπάρμπεκιου. Το μαύρο χρώμα του ανοδιωμένου θόλου εξυπηρετεί αισθητικά κριτήρια ώστε να ταιριάζει με τον υπόλοιπο χώρο του οικισμού. Ο θόλος που σχεδιάστηκε περιελάμβανε και διαφανές γυαλί. Σκοπός ήταν η χρήση ενός υλικού το οποίο δεν θα διαβρωθεί ούτε θα αλλοιωθεί με την πάροδο των χρόνων παρά τις δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες.



**α. Θόλος από ανοδιωμένο αλουμίνιο**



**β. Ανοδιωμένο αλουμίνιο σε διαστημικούς σταθμούς.**

**Εικόνα 17(α, β). Εφαρμογές σε ανοδιωμένη επιφάνεια αλουμινίου.**

### **3. Ανοδιωμένο Αλουμίνιο σε διαστημικούς σταθμούς**

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, το αλουμίνιο είναι αρκετά γνωστό για τα καλής ποιότητας εξαρτήματα τα οποία μπορεί να αποδώσει. Για τον λόγο αυτό, η NASA χρησιμοποίησε ανοδιωμένο αλουμίνιο για την κατασκευή διαστημικού σταθμού. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον διευθυντή που ήταν υπεύθυνος για την υλοποίηση του έργου, οι επιπτώσεις του θερμικού περιβάλλοντος, προκαλούν δυσκολίες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν δημιουργούνται νέες κατασκευές. Συγκεκριμένα, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι τόσο το άμεσο ηλιακό φως, όσο και η σκίαση προκαλούν μεγάλες μεταβολές στη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου της κατασκευής. Με την χρήση επιφανείας ανοδιωμένου αλουμινίου, παρέχονται καλύτερες οπτικές ιδιότητες και η επιφάνεια δεν θερμαίνεται τόσο, συγκριτικά με την επιφάνεια άλλων υλικών. Επομένως, με τη χρήση αυτού του υποστρώματος εξασφαλίζεται καλύτερος ολικός θερμικός έλεγχος.

## **3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ:**

### **ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΕΚΤΥΠΩΣΗ**

## Πειραματικό μέρος: Τροποποίηση της επιφάνειας του αλουμινίου με ανοδική οξείδωση και εκτύπωση με τη μέθοδο της μεταξοτυπίας και την ψηφιακή μέθοδο

Η μεθοδολογία και οι πειραματικές διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την ολοκλήρωση της έρευνας χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Ανοδική οξείδωση του αλουμινίου
2. Επιλογή θέματος προς εκτύπωση και προετοιμασία
3. Εκτύπωση (Μεταξοτυπία- Ψηφιακή Εκτύπωση)
4. Μετρήσεις - Αποτελέσματα

### 3.1. Ανοδική οξείδωση του αλουμινίου

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν προκαταρκτικές δοκιμές στα εργαστήρια της σχολής Γραφικών τεχνών. Στόχος ήταν ο έλεγχος της διαδικασίας ανοδικής οξείδωσης για τον προσδιορισμό και την επιλογή των πειραματικών συνθηκών σε εργαστηριακή κλίμακα ώστε να εξασφαλιστούν οι πλέον κατάλληλες συνθήκες εφαρμογής σε βιομηχανική κλίμακα, που ήταν και ο τελικός στόχος της μελέτης.

Για τις δοκιμασίες επιλέχθηκε ένα εμπορικά καθαρό κράμα αλουμινίου και συγκεκριμένα το κράμα AA1050. Χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια από ελάσματα διαστάσεων 3cmx10cm και 5cmx10cm. Η επιλογή του υποστρώματος στις συγκεκριμένες διαστάσεις και πάχος έγινε ύστερα από μελέτη των διατάξεων που υπήρχαν διαθέσιμες για την διαδικασία της ανοδίωσης (ενέργεια, χωρητικότητα λουτρού κλπ.).

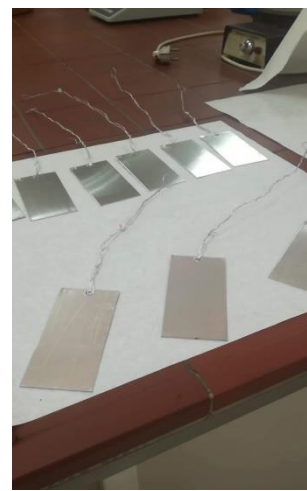
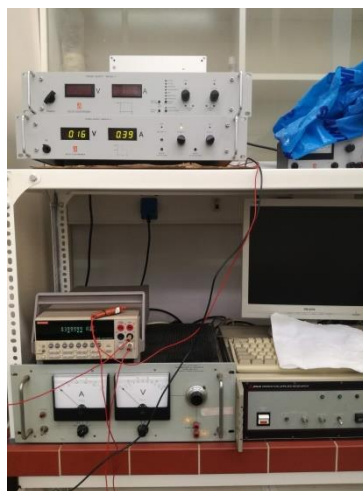
Μετά την διαδικασία επιλογής των κατάλληλων υποστρωμάτων, πραγματοποιήθηκε η προετοιμασία τους. Στο πρώτο στάδιο, έγινε καθαρισμός της επιφάνειας των δοκιμίων με μια σειρά διαδικασιών, ώστε να αφαιρεθούν όλα τα ξένα σώματα και τυχόν ακαθαρσίες από την επιφάνεια των υποστρωμάτων (καθαρισμός με ακετόνη, αλκαλική αποξείδωση). Ο καθαρισμός έγινε αρχικά με ακετόνη, ώστε να πραγματοποιηθεί απολίπανση της επιφάνειας, ενώ στη συνέχεια ακολούθησε καθαρισμός τριών σταδίων όπου το δοκίμιο αρχικά εμβαπτίζεται σε υδατικό διάλυμα το οποίο περιλαμβάνει 40 g/L NaOH, στους 40°C για χρόνο 1 min και ξεπλένεται με απιονισμένο νερό. Στο δεύτερο στάδιο καθαρισμού εμβαπτίζεται σε συμπυκνωμένο διάλυμα HNO<sub>3</sub> 1:1 v/v, σε θερμοκρασία δωματίου για 1 min. Η επιφάνεια ξεπλένεται με απιονισμένο νερό και το δοκίμιο οδηγείται στο τρίτο στάδιο, το στάδιο ξήρανσης σε ρεύμα ψυχρού αέρα. Καθώς η διαδικασία ανοδίωσης πραγματοποιήθηκε διαφορετική ημέρα από αυτή του καθαρισμού, τα δοκίμια αρχικά αριθμήθηκαν και στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν σε ξηραντήρα. Η ανοδίωση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση κατάλληλου τροφοδοτικού Delta Electronika SM3004-D, με σταθερή τάση. Τα δεδομένα της ανοδικής οξείδωσης (ρεύμα, τάση) καταγράφηκαν με την χρήση πολυμέτρου (Keithley 2000) συνδεδεμένου με υπολογιστή μέσω κατάλληλου λογισμικού.

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης η ανοδική οξείδωση πραγματοποιείται σε διάλυμα θεικού οξέος σε συγκέντρωση 150-200 g/L, σε θερμοκρασία 18-20°C, με πυκνότητα ρεύματος μεταξύ 1,4-1,6 A/dm<sup>2</sup> και εφαρμοζόμενη τάση 15-18 V. Ο χρόνος ανοδίωσης επιλέγεται ανάλογα με το επιθυμητό πάχος οξειδίου στην επιφάνεια του αλουμινίου, στην περίπτωση μας ήταν 40 min, ώστε να ληφθεί πάχος οξειδίου περίπου 20 μm, εκτός εάν οι διαφορετικές συνθήκες σημειώνονται κατά περίπτωση. Σύμφωνα με τα

δεδομένα αυτά πραγματοποιήθηκε η ανοδική οξείδωση των δοκιμίων αλουμινίου αφού παρασκευάστηκαν τα διαλύματα, δηλαδή τα λουτρά ανοδίωσης, λαμβάνοντας όλα τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας και με τη χρήση μέσων ατομικής προστασίας (προστατευτικά γυαλιά, γάντια, ποδιά εργαστηρίου), καθώς το πυκνό θεικό οξύ απαιτεί προσεκτικό χειρισμό. Καταρχάς έπρεπε να αραιωθεί, ώστε να αποκτήσει την κατάλληλη συγκέντρωση. Έτσι, τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα παρακάτω:

-Τοποθέτηση απιονισμένου νερού μέχρι περίπου το μέσον της ογκομετρικής φιάλης και στη συνέχεια,

-τοποθέτηση μικρής ποσότητας πυκνού οξέος στην φιάλη με το νερό και επανάληψη διαδικασίας μέχρι την παρασκευή του τελικού διαλύματος με προσθήκη απιονισμένου νερού μέχρι τη χαραγή, καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη, γεγονός που απαιτεί η διαδικασία να γίνεται με προσοχή για την αποφυγή εκτίναξης σταγονιδίων και υπό ταυτόχρονη ψύξη.



Εικόνα 18. Ανοδική Οξείδωση: διαδικασία, όργανα και δοκίμια αλουμινίου.

Μετά την απαραίτητη προετοιμασία των διατάξεων και την παρασκευή των διαλυμάτων, καθώς και την επιλογή των δοκιμίων και των συνθηκών, ακολούθησε η πραγματοποίηση της ανοδικής οξειδωσης.

Μετά τις δοκιμές σε εργαστηριακή κλίμακα, ακολούθησε η διαδικασία της ανοδικής οξειδωσης των δοκιμίων σε βιομηχανική κλίμακα. Επιλέχθηκαν δοκίμια αλουμινίου διαστάσεων 20x20 cm, ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί εκτύπωση και στη συνέχεια ενδεδειγμένος έλεγχος σε διαφορετικές περιοχές του ίδιου δοκιμίου για πλήρεις μετρήσεις και αποτελέσματα. Σε αυτό το στάδιο, τα φύλλα δοκιμίου ανοδιώθηκαν στις εγκαταστάσεις της εταιρείας ανοδίωσης Convex, σε μεγάλα λουτρά θεικού οξέος, θερμοκρασίας 20-22°C, με τη χρήση συνεχούς ρεύματος. Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν ανοδιώσεις σε μερικώς τροποποιημένες συνθήκες, για κάποιες επιπλέον δοκιμές ώστε να γίνει σύγκριση και τελικά επιλογή των πλέον κατάλληλων συνθηκών για το επιθυμητό τελικό προϊόν. Οι συνθήκες αυτές χαρακτηρίζονται ως πρώτη (I) και δεύτερη (II) κατηγορία, με πυκνότητα ρεύματος (1,4-1,6 A/dm<sup>2</sup>) αντίστοιχα.

### 3.2. Έλεγχος της ικανότητας διαβροχής και της απορρόφησης του μελανιού από την επιφάνεια του ανοδιωμένου αλουμινίου

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία της ανοδικής οξειδωσης πραγματοποιήθηκε έλεγχος της απορροφητικότητας ανοδιωμένου υποστρώματος. Σύμφωνα με την εμπειρική μέθοδο που ακολουθήθηκε, έγινε εναπόθεση μιας σταγόνας μελανιού στο υπόστρωμα και στη συνέχεια με την βοήθεια βαμβακιού και στη συνέχεια με τη χρήση διαλύτη έγινε προσπάθεια να απομακρυνθεί από το υπόστρωμα. Τα αποτελέσματα είναι ορατά στην Εικόνα 19. Το περίσσιο μελάνι απομακρύνθηκε εύκολα από την μη ανοδιωμένη επιφάνεια, ενώ το πορώδες της επιφάνειας που είχε υποστεί ανοδική οξειδωση έδειξε ότι συγκρατεί το μελάνι ακόμα κι όταν χρησιμοποιήθηκε για τον καθαρισμό του οργανικός διαλύτης.



Εικόνα 19. Έλεγχος απορροφητικότητας ανοδιωμένου υποστρώματος.

### 3.3. Επιλογή θέματος προς εκτύπωση και προετοιμασία

#### Εκτυπώσεις

Για την εκτύπωση στην ανοδικά οξειδωμένη επιφάνεια αλουμινίου επιλέχθηκαν οι μέθοδοι της Μεταξοτυπίας και της Ψηφιακής εκτύπωσης ως οι πλέον κατάλληλες για την υλοποίηση της εκτύπωσης. Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η κάθε μέθοδος αναλυτικά, καθώς και τα στάδια που ακολουθήθηκαν ώστε να δημιουργηθεί το τελικό προϊόν.

#### Επιλογή Θέματος Εκτύπωσης και Οπτική Ταυτότητα

##### 1.Λογότυπο ΠΑΔΑ (LU)

Για την υλοποίηση της μελέτης ήταν απαραίτητη η επιλογή θεμάτων προς εκτύπωση, τα οποία θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες κάθε εκτυπωτικής μεθόδου. Τα λογότυπα και τα μοτίβα που επιλέχθηκαν για τις δύο διαφορετικές μεθόδους εκτύπωσης ποικίλουν τόσο σε χρώματα όσο και σε δυσκολία αποτύπωσης για τις ανάγκες πραγματοποίησης μιας πιο εμπειριστατωμένης μελέτης. Το θέμα που επιλέχθηκε για την εκτύπωση με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας και της Ψηφιακής εκτύπωσης ήταν το έμβλημα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Η επιλογή του θέματος έγινε καθώς κρίθηκε κατάλληλο τόσο λόγω των χρωμάτων που περιλαμβάνει (υπήρχε η δυνατότητα εκτύπωσης έως και τεσσάρων χρωμάτων), όσο και



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA



Εικόνα 20. Λογότυπο και προσδιορισμός χρωματικών μοντέλων της οπτικής ταυτότητας.

της μορφής του, καθώς δεν περιλαμβάνει πολλές λεπτομέρειες.

Το έμβλημα αναπαριστά τον αρχαίο Αθηναίο φιλόσοφο Πλάτωνα, ενώ για την αναπαράσταση έχουν χρησιμοποιηθεί δύο χρώματα των οποίων τα ποσοστά αναφέρονται στα χρωματικά μοντέλα CMYK, RGB και Hex. Οι πληροφορίες αυτές δόθηκαν από την επίσημη ιστοσελίδα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.



## Έλεγχος μακέτας

Στο πλαίσιο της ορθής υλοποίησης των εκτυπωτικών διαδικασιών στο υπόστρωμα ανοδιωμένου αλουμινίου που έχει επιλεγθεί, πραγματοποιούνται μια σειρά από προετοιμασίες και έλεγχοι για την σωστή διεξαγωγή της εκτύπωσης αλλά και για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος στο τελικό εκτυπωμένο προϊόν. Πιο συγκεκριμένα, μετά την επιλογή του λογοτύπου πραγματοποιήθηκε έλεγχος τόσο στην ανάλυση του εμβλήματος όσο και στα χρώματα που αναφέρονται πως έχουν χρησιμοποιηθεί. Πιο συγκεκριμένα, κατά τον έλεγχο της μακέτας, παρά την υψηλή ποιότητα ανάλυσης, διαπιστώθηκε απουσία ορισμένων απαραίτητων στοιχείων όσον αφορά τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς αναφέρονται μόνο τα ποσοστά CMYK που χρησιμοποιήθηκαν κατά τον σχεδιασμό χωρίς ωστόσο να γίνεται αναφορά στα αντίστοιχα χρώματα PANTONE. Οι κωδικοί PANTONE που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα χρώματα είναι αναγκαίοι για την υλοποίηση της εκτυπωτικής μεθόδου που επιλέχθηκε. Επομένως, αρχικά έπρεπε να πραγματοποιηθεί η μετατροπή των ποσοστών από CMYK σε κωδικούς PANTONE. Επιπλέον, δεν υπήρχε η αναφορά στο είδος της επιφάνειας δηλαδή εάν υπάρχει επίστρωση ή όχι (coated ή uncoated). Η έλλειψη της πληροφορίας αυτής προκαλεί ακόμη μεγαλύτερο πρόβλημα καθώς υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των χρωμάτων, τόσο στο ψηφιακό όσο και στο τυπωμένο χρώμα.

Μελετώντας τους χρωματικούς χάρτες, έγινε φανερή η διαφοροποίηση της αναπαράστασης των μελανιών μεταξύ coated/uncoated υποστρωμάτων, αλλά επιπλέον και μεταξύ των προτεινόμενων χρωμάτων όπως αυτά δίνονται από το πρόγραμμα Illustrator.

Το Illustrator είναι ένα πρόγραμμα σχεδιασμού, μέσω του οποίου μπορεί να πραγματοποιηθεί και ο έλεγχος της οπτικής ταυτότητας, ώστε η μελέτη να είναι πλήρης και να επιβεβαιωθούν τα χρωματικά στοιχεία που αναφέρονται στο αντίστοιχο PDF αρχείο. Στην προκειμένη περίπτωση, πραγματοποιήθηκε εύρεση των χρωμάτων PANTONE τα οποία θα χρησιμοποιηθούν κατά τη εκτυπωτική διαδικασία.

Εφόσον γίνει η επιλογή της χρωματικής περιοχής που θα μελετηθεί (συγκεκριμένα στο πρώτο χρώμα) ακολουθούνται τα εξής βήματα: Edit >Edit Colors>Recolor Artwork, γίνεται η επιλογή του εικονιδίου “None” στο αναδυόμενο παράθυρο> Color Books και γίνεται η επιλογή του χρωματικού χάρτη PANTONE με την χρήση του οποίου θα γίνει η αντιστοίχιση. Τέλος, το αντίστοιχο χρώμα PANTONE της επιλεγμένης χρωματικής περιοχής εμφανίζεται στο παράθυρο “Swatches”. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για το δεύτερο χρώμα.

Στη συνέχεια, γίνεται παράθεση φωτογραφιών, οι οποίες παρουσιάζουν τις παραπάνω διαφοροποιήσεις. Στα πιο ανοιχτά χρώματα η διαφορά μεταξύ των coated και uncoated είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με τα πιο σκουρόχρωμα μελάνια εκτυπώσεων.

Η τελική επιλογή των χρωμάτων στηρίχθηκε στην χρήση χρωματικών χαρτών PANTONE, αλλά και με την ανάλυση του ψηφιακού αρχείου στο πρόγραμμα Illustrator, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα.

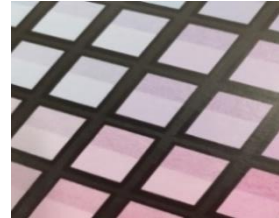
Η διαδικασία προσδιορισμού χρωμάτων μέσω χρωματικών χαρτών είναι μια απαιτητική διαδικασία καθώς πέρα από τις διαφοροποιήσεις των χρωμάτων στις διαφορετικές οθόνες που χρησιμοποιούνται υπάρχουν διαφοροποιήσεις και στους αντίστοιχους τυπωμένους καταλόγους χρωμάτων ανάλογα με τον τύπο μελανιού που

χρησιμοποιείται αλλά και το υπόστρωμα. Στο ψηφιακό αρχείο αναφέρονται τα παρακάτω ποσοστά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την εκτύπωση:

- 1<sup>ο</sup> χρώμα: C:100, M:77, Y:35, K:22
- 2<sup>ο</sup> χρώμα: C:60, M:19, Y:0, K:0



**α. Οπτικές διαφορές  
Coated και Uncoated μελανιών.**



**β. Παράδειγμα  
χρωματικού χάρτη.**



**γ. Διαφοροποίηση coated-uncoated  
επιφάνειας.**



**δ. Το PANTONE 2915 C(X2) όπως απεικονίζεται σε διαφορετικούς  
χρωματικούς χάρτες.**

**Εικόνα 21 (α,β,γ,δ). Χρωματικοί χάρτες και διαφοροποίηση μεταξύ coated και uncoated υποστρωμάτων.**

Είναι κατανοητό πως λόγω της έλλειψης πληροφοριών, οι οποίες συνοδεύουν ένα λογότυπο προς εκτύπωση, και με βάση τις οποίες καθορίζεται το επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα, θα πρέπει για τη συγκεκριμένη μελέτη να γίνει ο προσδιορισμός τους. Η μη τήρηση των αναγραφόμενων ποσοστών δυσχεραίνει τον εντοπισμό των κατάλληλων αντίστοιχων χρωμάτων PANTONE για ένα άρτιο τελικό αποτέλεσμα, το οποίο δεν πρέπει να διαφέρει σε σχέση με την ψηφιακή μορφή του λογοτύπου.

Έπειτα από τη μελέτη στο Illustrator, φάνηκε ότι υπήρχαν διαφοροποιήσεις στις αντιστοιχίες PANTONE και CMYK. Πιο αναλυτικά:

- Σε διαφορετικές περιοχές παρουσιάστηκαν διαφορετικά ποσοστά CMYK, όπως C:100, M:77, Y: 34.36, K:20.65 αλλά και C:100, M:76.6, Y: 35.2, K:21.9, όσον αφορά το πρώτο χρώμα.
- Στο δεύτερο χρώμα παρουσιάστηκαν πάλι διαφορετικά ποσοστά, σε σχέση με τα αναγραφόμενα, C:61, M:21, Y: 0, K:0 αλλά και C:73, M:27.1, Y: 0, K:0.

Κατά την μελέτη του αρχείου παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις στα αναγραφόμενα ποσοστά, οι οποίες είναι ορατές με γυμνό μάτι στο ψηφιακό αρχείο, ενώ πρέπει να αναφερθεί πως σε αρκετές περιοχές του λογότυπου υπάρχουν αποκλίσεις της τάξεως του 10-13%. Είναι εμφανές πως για διαφορετικές περιοχές του ίδιου χρώματος, τα ποσοστά διαφέρουν, γεγονός που καθιστά δύσκολο τον προσδιορισμό των αντίστοιχων χρωμάτων, ώστε να ανταποκρίνεται το τυπωμένο λογότυπο στην αρχική ψηφιακή του μορφή. Ως εκ τούτου, ο προσδιορισμός έγινε με την σύγκριση του ψηφιακού αρχείου με τους κωδικούς PANTONE που προέκυψαν από το Illustrator, όπως αυτοί παρουσιάζονται στους χρωματικούς χάρτες, λαμβάνοντας υπόψιν και τα ποσοστά που αναφέρονται στο ψηφιακό αρχείο. Τελικά, κατά την διαδικασία αντιστοιχίας των PANTONE χρωμάτων επιλέχθηκε το PANTONE 654 C (X1), για το πρώτο χρώμα, ενώ για το δεύτερο επιλέχθηκε το PANTONE 2915 C (X2).

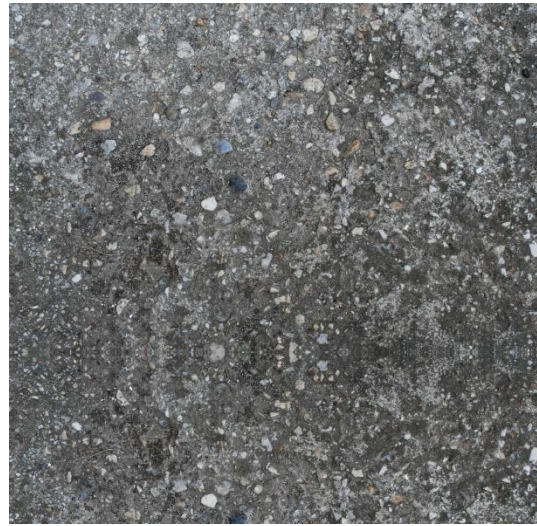
## **2. Θέματα προς εκτύπωση με την μέθοδο της ψηφιακής εκτύπωσης**

Για την εκτυπωτική διαδικασία της ψηφιακής εκτύπωσης εκτός από το λογότυπο του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, επιλέχθηκαν κάποια επιπλέον θέματα που παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες καθώς αναπαριστούν απομιμήσεις επιφανειών στο μεγαλύτερο ποσοστό των θεμάτων. Η επιλογή της μεθόδου εκτύπωσης με την συγκεκριμένη μέθοδο της ψηφιακής εκτύπωσης προκύπτει με βάση οικονομικά κριτήρια, καθώς στην περίπτωση της μεταξοτυπίας ήταν αναγκαία η χρήση ειδικών τελάρων εκτύπωσης τα οποία έχουν αυξημένο κόστος. Επιπλέον, καθώς η μελέτη γίνεται ώστε οι διαδικασίες αυτές να είναι υλοποιήσιμες ακόμα και για εμπορικούς σκοπούς, κι επίσης ακόμα και για περιορισμένο αριθμό δοκιμίων, είναι σωστό να επιλέγονται διαδικασίες που πληρούν τόσο ποιοτικά όσο και οικονομικά κριτήρια.

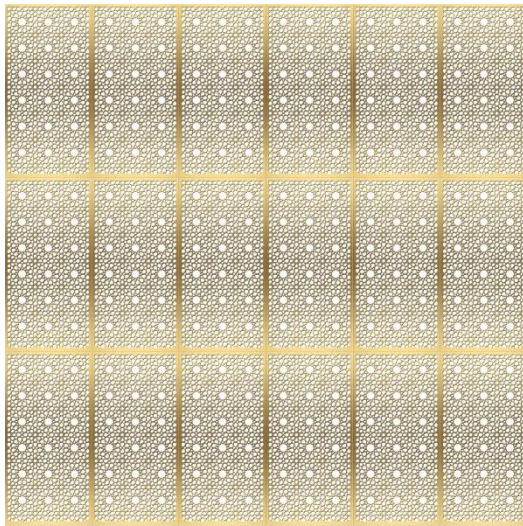
Τα διάφορα θέματα προς εκτύπωση (μοτίβα και απομίμησης επιφάνειας υλικών) επιλέχθηκαν σε συνεργασία με την εταιρεία στην οποία πραγματοποιήθηκε η ανοδική οξείδωση των δοκιμίων σε μεγάλη κλίμακα, οπότε επιπλέον επιλέχθηκε και το λογότυπο της προς εκτύπωση.



**α. Απομίμηση επιφάνειας τσιμέντου 1.**



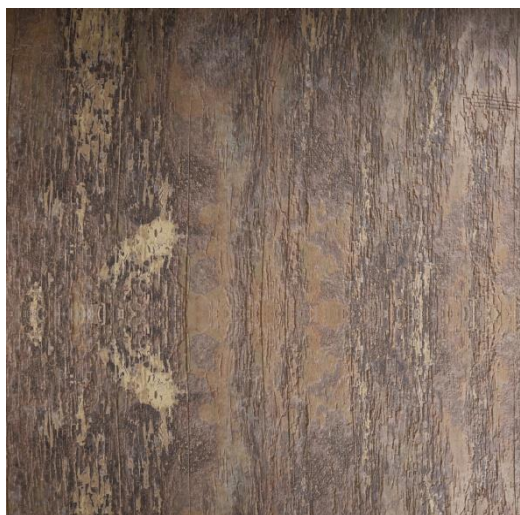
**β. Απομίμηση επιφάνειας τσιμέντου 2**



**γ. Απομίμηση επιφάνειας χρυσού.**



**δ. Απομίμηση επιφάνειας ξύλου 1.**



**ε. Απομίμηση επιφάνειας ξύλου 2.**

**Εικόνα 22(α, β, γ, δ, ε). Ψηφιακά αρχεία θεμάτων προς εκτύπωση απομίμησης επιφανειών**



**Εικόνα 23. Επιλεγμένα θέματα προς εκτύπωση (λογότυπο εταιρείας).**

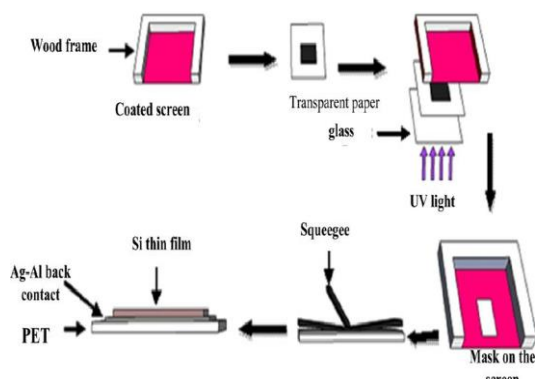
### 3.4. Διαδικασία Μεταξοτυπίας

Κατά την διαδικασία της εκτύπωσης είναι απαραίτητο να ακολουθηθούν τα απαραίτητα στάδια ελέγχων αλλά η κατάλληλη προετοιμασία ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι ολοκληρωμένο, ορθά υλοποιημένο, ενώ παράλληλα να ανταποκρίνεται στο αρχικό ζητούμενο. Για τον λόγο αυτό, στη μελέτη που πραγματοποιήθηκε, έλαβαν χώρα ορισμένοι έλεγχοι αλλά και η προετοιμασία των υλικών για την υλοποίηση της εκτύπωσης. Πιο συγκεκριμένα, για την υλοποίηση όλων των σταδίων στην εκτυπωτική μέθοδο της Μεταξοτυπίας έγινε χρήση των εξής υλικών:

Πίνακας Υλικών και Εξοπλισμού	
Πληρωτικό (Filler) KIWO	Μονοστρωματική Σπάτουλα Εκτύπωσης
Σπάτουλα Επάλειψης	Εποξικά Μελάνια
Γαλάκτωμα Ευαισθητοποίησης KIWO	Μελάνια Βυνιλίου
Μεμβράνη Μεταφοράς Θέματος	Πολυουρεθανικά Μελάνια
Πιεστικό	Σπάτουλα Ανάδευσης
Διαλύτης 204	Ψηφιακή Ζυγαριά Ακριβείας
Διαλύτης 102	Ξηραντήρας
Χειροκίνητη Μηχανή	

#### Μεμβράνη Μεταφοράς Θέματος (Film)

Εφόσον πραγματοποιηθεί ο έλεγχος της μακέτας και γίνουν όσες διορθώσεις είναι απαραίτητες, ένα από τα στάδια που θα ακολουθήσουν είναι η μεταφορά του θέματος στην μεμβράνη μεταφοράς θέματος (φίλμ). Η μεμβράνη φέρει επάνω της τους διαχωρισμούς των διαφορετικών χρωμάτων που περιλαμβάνονται στο επιλεγμένο προς εκτύπωση θέμα. Ανάλογα με το θέμα που θα εκτυπωθεί, επιλέγεται αν το φίλμ θα είναι θετικό ή αρνητικό και αναγνώσιμο ή μη αναγνώσιμο. Παλαιότερα η δημιουργία φίλμ πραγματοποιούνταν από ειδικά εκπαιδευμένους χειριστές για το βέλτιστο αποτέλεσμα, ωστόσο με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της τεχνολογίας, η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται από ειδικά μηχανήματα. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην εξάλειψη λαθών που προέκυπταν παλαιότερα, λόγω του ανθρώπινου παράγοντα. Κατά την δημιουργία του φίλμ πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν τα παρακάτω:



α. Διαδικασία εμφάνισης φίλμ.



β. Φίλμ μεταξοτυπίας.

Εικόνα 24(α, β). Διαδικασία εμφάνισης φίλμ Μεταξοτυπίας.

- Οι διαστάσεις του υποστρώματος στο οποίο θα τυπωθεί το θέμα,
- οι διαστάσεις του θέματος που θα τυπωθεί επάνω στο δοκίμιο,
- το πλήθος των χρωμάτων του θέματος που θα τυπωθεί.

Επομένως είναι σημαντικό να έχουν συγκεντρωθεί όλες οι αντίστοιχες πληροφορίες για την ορθότερη υλοποίηση της εμφάνισης του θέματος στη μεμβράνη αποτύπωσης.

### Φωτοευαίσθητο Γαλάκτωμα (Emulsion)

Για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η εμφάνιση του θέματος στην γάζα του τελάρου, πρέπει να δημιουργηθεί σε αυτή φωτοευαίσθησία, χαρακτηριστικό που υλοποιείται με την επάλειψη της γάζας με φωτοευαίσθητο γαλάκτωμα. Η επάλειψη πραγματοποιείται με την χρήση μεταλλικής σπάτουλας η οποία έχει μια λεπτή και μια χοντρή ακμή, όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 25*, ενώ η επάλειψη έγινε με την λεπτή ακμή της. Μετά την επάλειψη του τελάρου η εμουλσιόν πρέπει να σταθεροποιηθεί, οπότε τοποθετείται στον ξηραντήρα.



Εικόνα 25. Διαδικασία Επάλειψης-Ακμή σπάτουλας

Το γαλάκτωμα (emulsion) που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας Kiwo. Στη συγκεκριμένη εταιρία υπάρχει ποικιλία ανάλογα με το επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα (ανάλυση, τύπος μελανιών, αντοχή κλπ.), γεγονός που δίνει την δυνατότητα να καλυφθεί το μεγαλύτερο εύρος των απαιτήσεων της αγοράς.

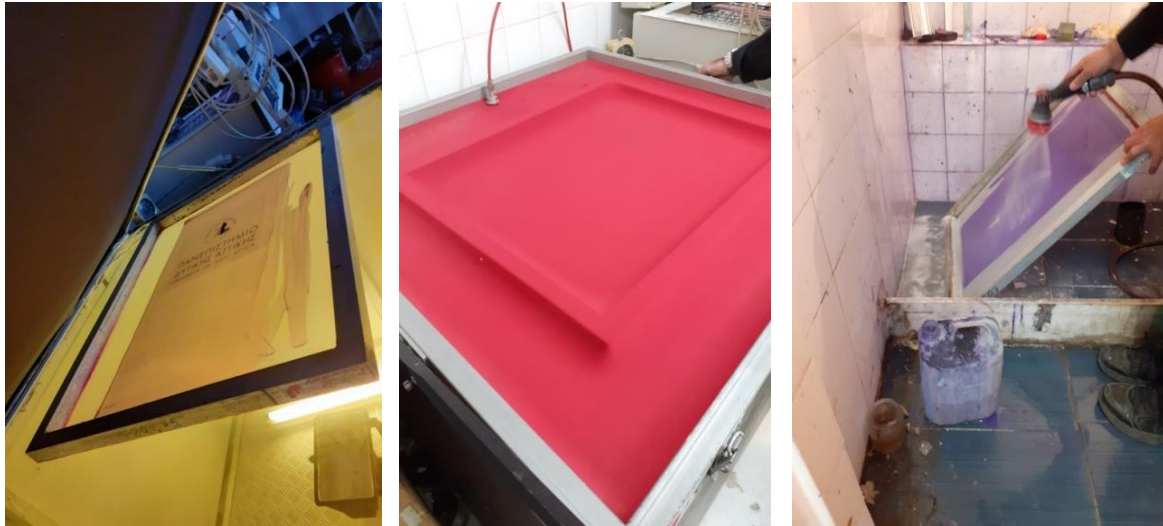
### Φωτομεταφορά του θέματος

Εφόσον δημιουργηθεί η φωτοευαίσθησία του τελάρου, ακολουθεί η φωτομεταφορά του θέματος από το φιλμ στο τελάρο. Το συγκεκριμένο στάδιο χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή καθώς είναι το τελικό πριν την εκτύπωση. Οποιοδήποτε λάθος προκύψει κατά την διαδικασία αυτή, και το οποίο δεν διορθώνεται με την χρήση του πληρωτικού (filler) το οποίο θα αναφερθεί στην συνέχεια, οδηγεί στην εκ νέου προετοιμασία του τελάρου αλλά και φωτομεταφορά του θέματος, γεγονός που θα προκαλέσει απώλεια χρόνου και υλικών κατά την διαδικασία της εκτύπωσης. Δίνεται λοιπόν ιδιαίτερη σημασία στο στάδιο αυτό με πρώτο βήμα την σωστή τοποθέτηση του φιλμ που περιέχει το θέμα προς εκτύπωση, στο κέντρο της εξωτερικής πλευράς του τελάρου. Η σύνθεση φιλμ-τελάρο είναι τοποθετημένη στο μηχάνημα φωτομεταφοράς, το οποίο χρησιμοποιεί UV φωτισμό. Παράλληλα, στο μηχάνημα αυτό υπάρχει κενό αέρος (vacuum) το οποίο επιτρέπει την απόλυτη επαφή του φιλμ με το τελάρο της μεταξοτυπίας. Ο χρόνος που απαιτείται για την φωτομεταφορά είναι ανάλογος της πληροφορίας που υπάρχει στο επιλεγμένο θέμα. Για το συγκεκριμένο θέμα ο χρόνος

φωτομεταφοράς ήταν οκτώ λεπτά. Μετά την διαδικασία της φωτομεταφοράς ακολουθεί το «χτύπημα» του τελάρου με το πιεστικό, ώστε να εμφανιστούν οι ανοικτές περιοχές του.

#### **Διορθώσεις (retouch) τελάρου**

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της εμφάνισης του τελάρου οδηγείται στο στάδιο της διόρθωσης (retouch) καθώς κατά τη μεταφορά του θέματος υπάρχει πιθανότητα μη ορθής εμφάνισης του θέματος λόγω εξωτερικών παραγόντων (π.χ. μικροσωματίδια στην επιφάνεια). Η διαδικασία retouch επιτρέπει την διόρθωση μικρών λαθών χωρίς να χρειαστεί η επανεμφάνιση του θέματος προς εκτύπωση στο τελάρο.



**Εικόνα 26. Φωτομεταφορά θέματος προς εκτύπωση.**

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί, η κάλυψη περιοχών που δεν πρέπει να είναι ανοικτές κατά την εκτύπωση, είτε αυτό προκύπτει ηθελημένα, ώστε να γίνει εξοικονόμηση τελάρων με την εμφάνιση των δύο films (που αντιστοιχούν στα δύο διαφορετικά χρώματα) στο ίδιο τελάρο μεταξοτυπίας, όπως στην συγκεκριμένη εκτύπωση, είτε επειδή υπήρχαν μικροσωματίδια στην επιφάνεια του τελάρου, τα οποία δεν επέτρεψαν στο γαλάκτωμα να καλύψει τις συγκεκριμένες περιοχές. Τα μικροσωματίδια στην επιφάνεια του τελάρου είναι ένα σύνηθες φαινόμενο, ενώ αξίζει να αναφερθεί πως δεν πρόκειται για μεγάλες ανοικτές περιοχές, οι οποίες όμως είναι ευδιάκριτες με γυμνό μάτι.





**Εικόνα 27.Διορθώσεις (retouch) τελάρου.**

Από τα προηγούμενα αποδεικνύεται η σημασία των διορθώσεων, οι οποίες αποτελούν το τελευταίο στάδιο πριν την εκτύπωση. Η διόρθωση γίνεται με την χρήση πληρωτικού (filler) το οποίο με ειδική σπάτουλα, είτε μεταλλική είτε πλαστική, εναποτίθεται σε μικρή ποσότητα, όπου υπάρχουν μη επιθυμητές ανοικτές περιοχές. Μετά την σταθεροποίηση του filler στις περιοχές αυτές το τελάρο είναι έτοιμο προς χρήση.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η εκτύπωση δεν πραγματοποιήθηκε την ίδια μέρα, οπότε το τελάρο διατηρήθηκε σε μέρος όπου υπήρχε προστασία από εξωγενείς παράγοντες που μπορούσαν να επηρεάσουν την διαδικασία της εκτύπωσης. Το πληρωτικό και το γαλάκτωμα φωτοευαισθησίας που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στην εταιρεία Kiwo, ενώ και εδώ παρατηρείται ποικιλομορφία ανάλογα με την χρήση του filler, όπως παρουσιάζεται και στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 4.Κατηγορίες πληρωτικών (filler).**

Product Name	Color	Solids	Viscosity	Resistance
RED BLOCKOUT	Red	15%	6,000 cps	Solvent
BLOCKOUT	Blue	34%	6,000 cps	Solvent
KIWOFILLER SWR 22	Blue	31%	11,000 cps	Solvent & Water
BLOCKOUT WR	Blue	31%	4,000 cps	Water

### **Παρασκευή μελανιών**

Η μέθοδος εκτύπωσης της Μεταξοτυπίας χρησιμοποιεί μελάνια Pantone. Όπου είναι εφικτό χρησιμοποιούνται έτοιμα μελάνια που διατίθενται στο εμπόριο, ωστόσο πολλές φορές τα μελάνια αυτά χρειάζεται να παρασκευασθούν με αναμείξεις άλλων και με την προσθήκη διαλυτών ώστε να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα όσον αφορά τα χαρακτηριστικά (όπως ιξώδες, ρευστότητα κτλ) του τελικού μελανιού.

Στην εκτύπωση που πραγματοποιήθηκε, χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι (οικογένειες) μελανιών, με σκοπό την μελέτη της αντοχής τους σε σχέση με το ανοδιωμένο υπόστρωμα. Οι τρεις κατηγορίες μελανιών που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στα μελάνια με βάση τους διαλύτες.

### **Πρώτη Οικογένεια Μελανιών: Εποξικά Μελάνια (Α)**

Η πρώτη οικογένεια μελανιών περιλαμβάνει τα εποξικά μελάνια, τα οποία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την σύνθεσή τους, σε εποξικά μελάνια ενός και δύο συστατικών αντίστοιχα. Παρά τον χρόνο στεγνώματος που χρειάζονται, παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα, και χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις σημάνσεις.

- Το εποξικό μελάνι δύο συστατικών, έχει καλύτερη αντοχή στον χρόνο συγκριτικά με άλλα μελάνια, όσον αφορά τον τομέα των σημάνσεων σε υποστρώματα με χαρακτηριστικά που τα καθιστούν δύσκολα ως προς την εκτύπωση. Το συγκεκριμένο μελάνι είναι ανθεκτικό σε διαλύτες, όπως αυτούς με βάση τους υδρογονάνθρακες ενώ παράλληλα έχει αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Όπως θα αναφερθεί και στην συνέχεια, μετά τον άνοιγμα των εποξικών μελανιών και πριν από την χρήση τους, είναι απαραίτητη η προσθήκη καταλύτη. Ο χρόνος στεγνώματος κυμαίνεται από 6 έως 8 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου, χρόνος που μπορεί να μειωθεί με την χρήση θερμότητας. Για μέγιστη πρόσφυση και χημική αντοχή του τελικού προϊόντων απαιτείται χρονικό διάστημα από 4 έως 7 ημέρες.
- Το εποξικό μελάνι ενός συστατικού είναι ανθεκτικό στους περισσότερους διαλύτες ενώ παρασκευάζεται με την χρήση εποξικής ρητίνης. Η αντοχή του είναι αρκετά καλή, και παράλληλα είναι εύκολο στη χρήση. Ύστερα από την εναπόθεση του μελανιού στο υπόστρωμα, χρειάζονται 10 δευτερόλεπτα για την σταθεροποίησή του, ενώ η πλήρης σταθεροποίησή του πραγματοποιείται εντός χρονικού διαστήματος τεσσάρων ωρών.

Η εκτύπωση με εποξικά μελάνια πρέπει να πραγματοποιείται σε σύντομους χρόνους, καθώς εάν μείνουν για αρκετό χρονικό διάστημα επάνω στη γάζα του τελάρου, μπορούν να εμφανιστούν προβλήματα διαρροής των μελανιών μέσα από τις οπές της γάζας.

### **Παρασκευή εποξικών μελανιών**

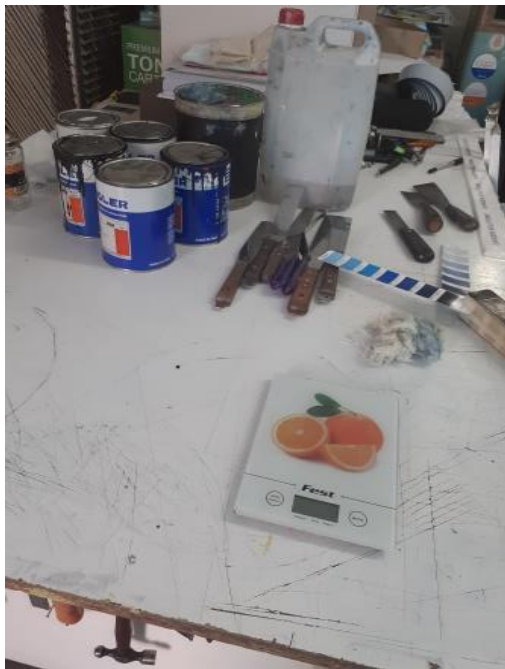
Ο κωδικός Pantone που επιλέχθηκε για το πρώτο χρώμα είναι το PANTONE 654 C, αλλά λόγω έλλειψης, το χρώμα αυτό παρασκευάστηκε από αναμείξεις άλλως χρωμάτων της ίδιας εταιρείας ώστε το τελικό χρώμα να είναι πιστή αναπαράσταση του συγκεκριμένου κωδικού.

Κατά την παρασκευή του πρώτου χρώματος της κατηγορίας των εποξικών μελανιών χρησιμοποιήθηκαν Unicat μελάνια. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι κωδικοί των χρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και οι ποσότητές τους.

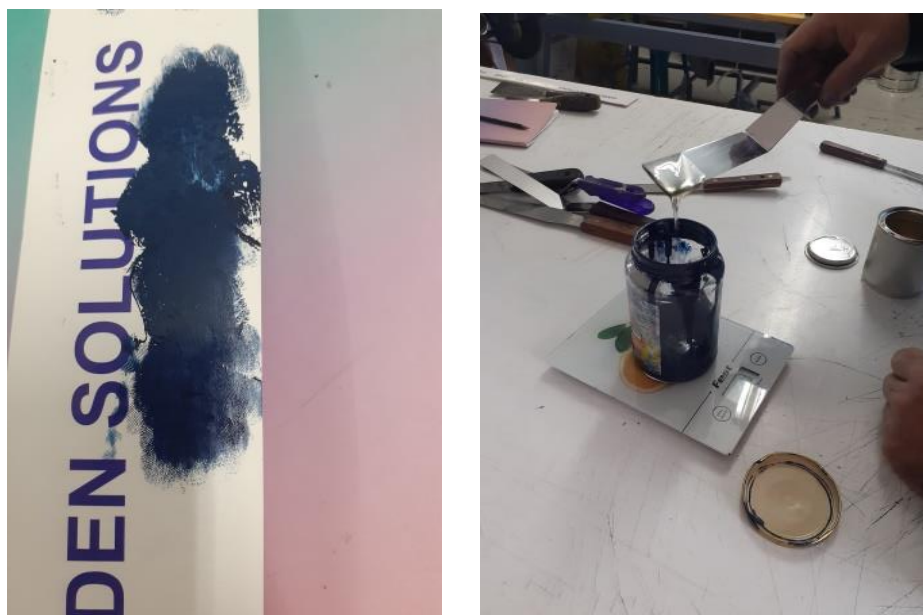
**Πίνακας 5. Παρασκευή εποξικού μελανιού X1.**

<b>Κωδικός Μελανιού</b>	<b>Ποσότητα</b>
Blue Navy 56	40g
Unicat Bianco	1g
Διαλύτης 204	5g

Λόγω της σύστασης των εποξικών μελανών, όπως αναφέρεται και στον πίνακα, λίγο πριν την εκτύπωση, προστέθηκε στο μελάνι διαλύτης 204, ο οποίος επηρεάζει την ρευστότητα του μελανιού. Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε και για την παρασκευή του δεύτερου χρώματος, με αντιστοιχία κωδικού PANTONE 2915 C.



**Εικόνα 28. Παρασκευή μελανιών.**



Εικόνα 29. Παρασκευή μελανιού X1.

Πίνακας 6. Παρασκευή εποξικού μελανιού PANTONE 2915 C (X2)

Κωδικός Μελανιού	Ποσότητα
Blue Navy 56	5g
Unicat Bianco	34g
Yellow MTsignon	10 σταγόνες
Μπλε Τετραχρωμίας	6g
Διαλύτης 204	5g

Οι παραπάνω αναμείξεις μελανιών πραγματοποιήθηκαν με βάση τις συνταγές ανάμειξης χρωμάτων που αναφέρονται στους χρωματικούς καταλόγους της PANTONE, γεγονός που οδήγησε στην πιστή αναπαράσταση των χρωμάτων που αναφέρονται στο ψηφιακό αρχείο του λογοτύπου.



Εικόνα 30. Αποτύπωση εποξικού μελανιού PANTONE X2.

### **Δεύτερη Οικογένεια Μελανιών: Μελάκι Πολυουρεθάνης (B)**

Η δεύτερη οικογένεια μελανιών είναι τα πολυουρεθανικά μελάνια (Seliron, που είναι αρκετά εύχρηστα και ελαστικά. Είναι κατάλληλα για εκτύπωση σε ύφασμα νάιλον, απομίμηση δέρματος αλλά και δέρμα, ρούχα και ετικέτες, μεταλλικές επιφάνειες κλπ. Για την βελτίωση της σκληρότητας των μελανιών, αλλά και της φυσικής και χημικής αντοχής τους, μπορεί να προστεθεί σκληρυντής (hardner) σε ποσοστό 10-20%. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα επίστρωσης βερνικιού πάνω από τα συγκεκριμένα μελάνια. Οι ποσότητες χρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7. Παρασκευή πολυουρεθανικού μελανιού PANTONE X1.

Κωδικός Μελανιού	Ποσότητα
Blue Royal	41g
Nero	3g
Διαλύτης 102M	2.5g

Όπως και στην πρώτη οικογένεια χρωμάτων, έτσι και στην δεύτερη, ακολουθούνται παρόμοιες διαδικασίες για την παρασκευή των μελανιών ώστε το τελικό αποτέλεσμα να ανταποκρίνεται χρωματικά στο ψηφιακό αρχείο. Οι ποσότητες αλλά και οι κωδικοί που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 31. Παρασκευή πολυουρεθανικού μελανιού PANTONE 654 C.

Πίνακας 8. Παρασκευή πολυουρεθανικού μελανιού PANTONE X2.

Κωδικός Μελανιού	Ποσότητα
Sky Blue	25g
Nero	25g
Διαλύτης 102M	2.5g

### **Τρίτη Οικογένεια Μελανιών: Μελάνια Βινυλίου (Γ)**

Η τρίτη οικογένεια μελανιών που επιλέχθηκε είναι τα μελάνια βινυλίου (Gloss Vinyl). Γενικότερα η χρήση των μελανιών αυτών προορίζεται για επιφάνειες βινυλίου στις οποίες απαιτείται γυαλιστερό φινίρισμα, ευελιξία αλλά και αντοχή στις εξωτερικές επιδράσεις. Είναι ιδανικά για σημάνσεις, δοχεία PVC, διακόσμηση ταπετσαρίας κλπ, ωστόσο κρίνεται ακατάλληλο υλικό για το εύκαμπτο PVC.

Στους παρακάτω πίνακες θα αναφερθούν οι ποσότητες των υλικών που απαιτούνται για την παρασκευή των επιθυμητών τελικών μελανιών.

**Πίνακας 9. Παρασκευή μελανιών βινυλίου X1.**

Κωδικός Μελανιού	Ποσότητα
Prussian Blue	40g
Διαλύτης 102M	5g

**Πίνακας 10. Παρασκευή μελανιών βινυλίου X2.**

Κωδικός Μελανιού	Ποσότητα
Nero	41g
Cyan Τετραχρωμίας	4g
Sky Blue	16g
625	2 Σταγόνες
Διαλύτης	6g

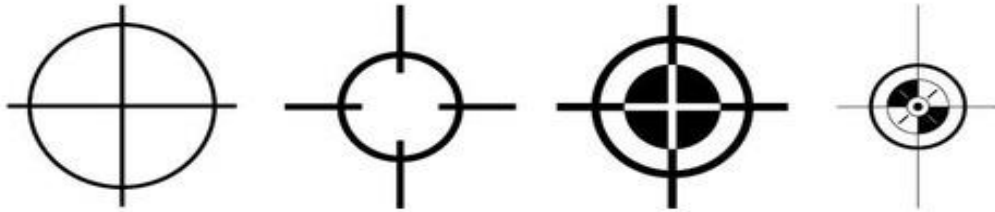


**Εικόνα 32. Δοκιμασίες μελανιού βινυλίου X2.**

Εφόσον η παρασκευή των μελανιών έχει ολοκληρωθεί, είναι απαραίτητο να αποθηκευτούν κατάλληλα ώστε να μην υποστούν μεταβολές από εξωτερικούς παράγοντες μέχρι την στιγμή της εκτύπωσης.

### Εύρεση συμπτώσεων και θέσης θέματος (γώνιασμα)

Το στάδιο εύρεσης συμπτώσεων μεταξύ φιλμ και τελάρου, όπως και πολλά ακόμη στάδια που πραγματοποιούνται από τον χειριστή, οπότε επηρεάζονται από τον ανθρώπινο παράγοντα, χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή.



Above are 4 common registration marks that you might see on any item that is being printed on a professional printing press.

Εικόνα 33. Παραδείγματα σταυρών σύμπτωσης.

Το επιλεγμένο θέμα προς εκτύπωση μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερα από ένα χρώματα, επομένως είναι αναγκαία η τοποθέτηση σταυρών σύμπτωσης στα φιλμ ώστε στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί η εύρεση συμπτώσεων.

Η δομή του λογοτύπου που επιλέχθηκε να εκτυπωθεί στα δοκίμια ανοδιωμένου αλουμινίου, δίνει την δυνατότητα εμφάνισης ενός φιλμ και για τα δύο χρώματα που θα τυπωθούν. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί με την χρήση του πληρωτικού (filler), στις περιοχές που δεν θα τυπωθούν στο πρώτο χρώμα, ενώ στη συνέχεια πραγματοποιείται αφαίρεση του με την χρήση διαλύτη, πάντα με προσεκτικές κινήσεις, για την αποφυγή αλλοίωσης του τελάρου.



Εικόνα 34. Εύρεση συμπτώσεων και γώνιασμα.



Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για το δεύτερο χρώμα. Με την τεχνική αυτή γίνεται εξοικονόμηση τόσο στα φιλμ όσο και στα τελάρα που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτύπωση. Για το λόγο αυτό στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορούν να παραληφθούν οι σταυροί σύμπτωσης.

Πέρα από τους σταυρούς σύμπτωσης για την διευκόλυνση στον προσδιορισμό συμπτώσεων μεταξύ των χρωμάτων, είναι απαραίτητη και η εύρεση των συμπτώσεων μεταξύ φιλμ και τελάρου, ώστε να βρεθεί η θέση του προς εκτύπωση θέματος στο υπόστρωμα. Μετά την διαδικασία αυτή ακολουθεί το γώνιασμα του υποστρώματος ώστε η θέση του υποστρώματος κατά την εναλλαγή των δοκιμίων να παραμένει σταθερή. Η σταθερή θέση του δοκιμίου είναι ένας ακόμη τρόπος ελέγχου της σύμπτωσης των χρωμάτων που θα τυπωθούν στο υπόστρωμα. Είναι κατανοητό, λοιπόν, πως η εκτίμηση των παραμέτρων για την προετοιμασία της μηχανής εξασφαλίζουν ένα ορθό τελικό αποτέλεσμα. Το γώνιασμα του δοκιμίου πραγματοποιείται με την τοποθέτηση τριών σημείων τα οποία δημιουργούν την γωνία τοποθέτησης του δοκιμίου στην μηχανή εκτύπωσης.

### **Διαδικασία Εκτύπωσης**

Εφόσον ολοκληρωθούν τα στάδια προετοιμασίας, σειρά έχει το στάδιο της εκτύπωσης. Αξίζει να αναφερθεί πως ο χώρος στον οποίο πραγματοποιείται μια εκτύπωση πρέπει να πληροί ορισμένες προδιαγραφές, εξαερισμού, καθαριότητας κλπ., ώστε να εξασφαλιστεί η καλή ποιότητα της εκτύπωσης, η οποία μπορεί να επηρεαστεί από εξωτερικούς παράγοντες.

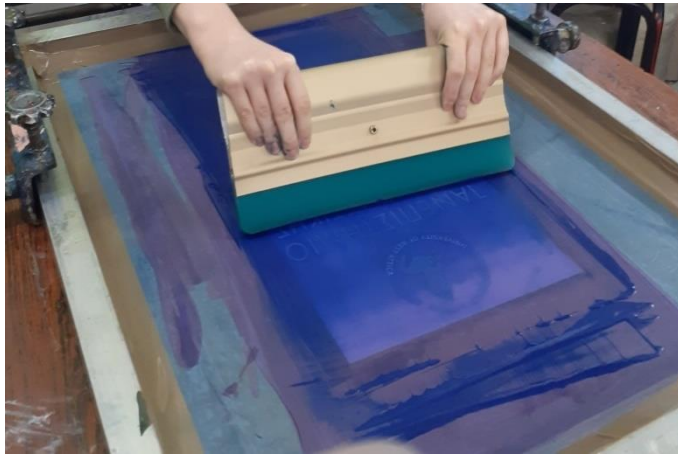
Για την εκτύπωση, έγινε χρήση χειροκίνητης μηχανής, ενώ πέρα από το τελάρο χρειάζεται και η σπάτουλα εκτύπωσης. Η επιλογή της σπάτουλας με την οποία θα πραγματοποιηθεί η εκτύπωση γίνεται ανάλογα με την γάζα που χρησιμοποιείται στο τελάρο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε μονοστρωματική σπάτουλα, σκληρότητας 75 Shore. Η επάλειψη (πέραςμα) των χρωμάτων πραγματοποιήθηκε μια φορά, σε σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε κατά την διάρκεια της εκτύπωσης με τα μελάνια της πρώτης οικογένειας μελανιών (εποξικά μελάνια), λόγω της φύσης τους, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3.4. *Παρασκευή μελανιών.*

Καθ' όλη την διάρκεια της εκτύπωσης ο χειριστής οφείλει να ασκεί σταθερή δύναμη στην σπάτουλα εκτύπωσης, αλλά ταυτόχρονα να διατηρεί σταθερή και την ταχύτητα με την οποία πραγματοποιεί την εκτύπωση. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ένα ομοιόμορφο, σταθερό εκτυπωμένο αποτέλεσμα, όσες φορές και να επαναληφθεί η διαδικασία ανάλογα με το πλήθος των δοκιμίων. Αφότου ολοκληρωθεί η εκτύπωση του πρώτου χρώματος, το δοκίμιο οδηγείται σε ειδικό μέρος για να στεγνώσει χωρίς να έρθει σε επαφή με άλλα αντικείμενα και αλλοιωθεί το εκτυπωμένο θέμα. Μετά το στέγνωμα του πρώτου χρώματος, σειρά έχει η εκτύπωση του δεύτερου χρώματος, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία. Στο τέλος, τα εκτυπωμένα δοκίμια αποθηκεύονται σε ειδικές διαφάνειες για την μεταφορά τους.



**Εικόνα 35. Επάλειψη τελάρου με μελάνι.**

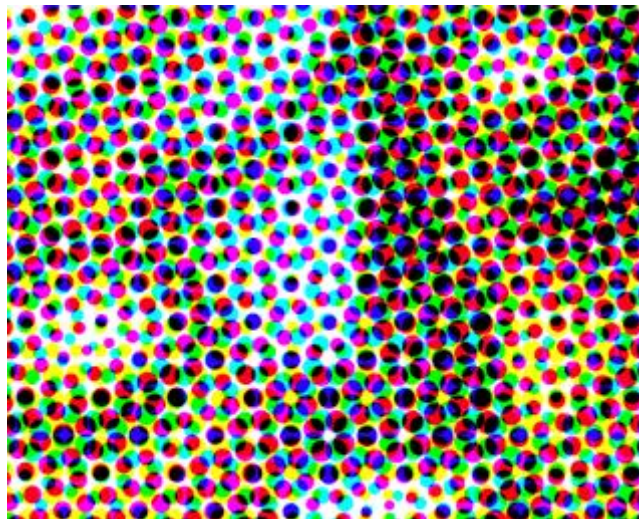
Τα δοκίμια στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι εκτυπώσεις ήταν αριθμημένα ανάλογα με την κατηγορία μελανιών που επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί σε καθένα από αυτά, αλλά και ανάλογα με τις παραμέτρους ανοδίσωσης που επιλέχθηκαν πριν την εκτύπωση. Μετά την ολοκλήρωση της εκτυπωτικής διαδικασίας όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, καθαρίζονται και αποθηκεύονται για την επόμενη χρήση τους σε άλλες εκτυπωτικές διαδικασίες.



**Εικόνα 36. Επάλειψη τελάρου και στέγνωμα-αποθήκευση.**

### 3.5. Ψηφιακή εκτύπωση

Η ψηφιακή εκτύπωση αποτελεί την δεύτερη μέθοδο η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση των δοκιμίων από ανοδιωμένο αλουμίνιο. Για τη συγκεκριμένη μέθοδο, εκτός από το λογότυπο του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, επιλέχθηκαν να δοκιμαστούν και ορισμένα μοτίβα τα οποία προορίζονται για την διακόσμηση μεταλλικών επιφανειών και τα οποία προτάθηκαν από την επιχείρηση που πραγματοποίησε τις ανοδιώσεις. Όπως αναφέρθηκε, τα μεταλλικά υποστρώματα από αλουμίνιο χρησιμοποιούνται στον τομέα των σημάτων αλλά και για διακοσμητικές εφαρμογές, οπότε η εκτύπωση θεμάτων απομίμησης ξύλου, τσιμέντου και χρυσού που εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Οι εκτυπώσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο διαφορετικές μονάδες ψηφιακών εκτυπώσεων, με διαφορετικές μηχανές, τα χαρακτηριστικά των οποίων θα αναφερθούν παρακάτω.



Εικόνα 37. Αποτύπωση ψηφιακής εκτύπωσης σε μεγέθυνση.

#### Ψηφιακή εκτύπωση με την εκτυπωτική μηχανή VUTEk QS3200

Η πρώτη ψηφιακή εκτύπωση του λογοτύπου του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, πραγματοποιήθηκε με την χρήση της εκτυπωτικής μηχανής VUTEk QS3200. Η συγκεκριμένη μηχανή ανήκει στη νέα γενιά εκτυπωτικών μηχανών, διότι συνδυάζει την εκτύπωση σε υψηλή ανάλυση (HDP) με υψηλές ταχύτητες παραγωγής. Με το συγκεκριμένο τύπο μηχανής δίνεται η δυνατότητα εκτύπωσης σε ανάλυση έως 1080 DPI, ενώ επίσης, υπήρχε η δυνατότητα εκτύπωσης των: Cyan, Magenta, Yellow, Key Color, Light Magenta, Light Yellow, Light Cyan, White. Επιπλέον, ο τύπος αυτός μηχανής διαθέτει 21 κεφαλές σταθεροποίησης του χρώματος.

Η ικανότητα που διαθέτουν οι ψηφιακές μηχανές για εκτύπωση σε άκαμπτα υλικά, αποτελεί μια από τις ιδανικότερες επιλογές πραγματοποίησης εκτύπωσης επάνω στο συγκεκριμένο υπόστρωμα ανοδιωμένου αλουμινίου.



Εικόνα 38. Χώρος εργασίας και Ψηφιακή Μηχανή VUTEK QS3200.

#### Εκτύπωση δοκιμών με την μηχανή Vutek QS3200

Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τα ποσοστά CMYK τα οποία αναφέρονται στο ψηφιακό αρχείο, και αυτό διότι σε αυτή την περίπτωση υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ποσοστών της τετραχρωμίας, τα οποία δίνονται μέσω του υπολογιστή στην ψηφιακή εκτυπωτική μηχανή, σε αντίθεση με την μέθοδο της μεταξοτυπίας όπου είναι αναγκαία η αναφορά των κωδικών PANTONE για την υλοποίηση της εκτύπωσης.

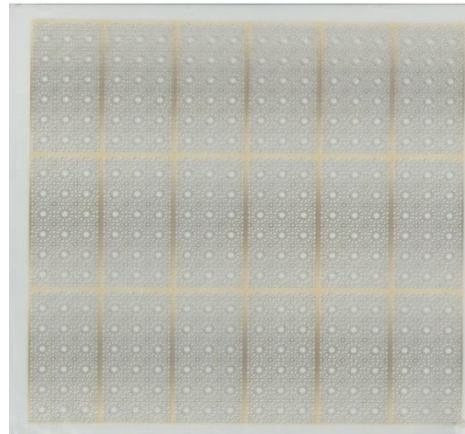
Με τη μηχανή Vutek QS3200 πραγματοποιήθηκε η εκτύπωση του λογοτύπου του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής αλλά και τα μοτίβα απομίμησης. Ορισμένα από αυτά παρουσιάζονται παρακάτω, ωστόσο αξίζει να σημειωθεί πως λόγω της φύσης του υλικού του υποστρώματος δεν είναι δυνατή η ορθή αποτύπωση του αποτελέσματος σε ψηφιακή μορφή (μέσω σαρωτή - scanner).

Τα δοκίμια που εκτυπώθηκαν έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών της ανοδίωσης, τα οποία θα αναφερθούν στη συνέχεια. Είναι σημαντική η μελέτη όλων των δοκιμών, καθώς μέσω αυτής θα εξαχθούν τα απαραίτητα συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα της κάθε μεθόδου.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

**α. Λογότυπο ΠΑΑΑ.**



**β. Χρυσό μοτίβο.**



**γ. Απομίμηση επιφάνειας ξύλου.**



**δ. Απομίμηση επιφάνειας τσιμέντου.**

**Εικόνα 39 (α,β,γ,δ). Εκτυπωμένα δοκίμια.**

### Ψηφιακή εκτύπωση με την εκτυπωτική μηχανή Verve Mini by Colojet

Η ψηφιακή μηχανή εκτυπώσεων Verve Mini, επιλέχθηκε για την δεύτερη ψηφιακή εκτύπωση των διακοσμητικών μοτίβων σε υπόστρωμα ανοδιωμένου αλουμινίου. Η συγκεκριμένη ψηφιακή μηχανή λειτουργεί με τεχνολογία πιεζοηλεκτρικών inkjet η οποία εναποθέτει την σταγόνα του μελανιού κατά ζήτηση (on demand), οπότε με τον τρόπο αυτό υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στο τελικό αποτέλεσμα. Επιπλέον η εκτύπωση γίνεται σε υψηλή ποιότητα έως και 600x1200 DPI. Η μηχανή διαθέτει έξι κεφαλές εκτύπωσης και μπορεί να κάνει ταυτόχρονα έως και οκτώ περάσματα σε κάθε εκτυπώσιμη περιοχή. Υπάρχει και σε αυτή την περίπτωση η δυνατότητα εξαχρωμίας.

Όπως όλοι οι ψηφιακοί εκτυπωτές, έτσι και ο συγκεκριμένος, διαθέτει σύστημα σκλήρυνσης δύο λαμπτήρων LED UV. Λόγω της προηγμένης τεχνολογίας της εκτυπωτικής μηχανής, ο χειριστής μπορεί να προγραμματίσει τη μηχανή προσαρμόζοντας τα χαρακτηριστικά της, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα της κάθε εκτύπωσης.

Όσον αφορά τις εκτυπώσεις που πραγματοποιήθηκαν στα δοκίμια αλουμινίου, η μηχανή προγραμματίστηκε ώστε η ανάλυση της εκτύπωσης να είναι 720x900 DPI, να πραγματοποιηθούν έξι περάσματα σε κάθε εκτυπώσιμη περιοχή, ενώ τέλος η εκτύπωση έγινε σε υψηλή ταχύτητα εκτύπωσης. Όλα τα παραπάνω επιλέχθηκαν διότι τα ψηφιακά αρχεία που δόθηκαν προς εκτύπωση έπρεπε να αποδοθούν σε υψηλούς χρόνους και με όσο το δυνατόν λιγότερα περάσματα, χωρίς να επηρεαστεί η ποιότητα της εκτύπωσης.

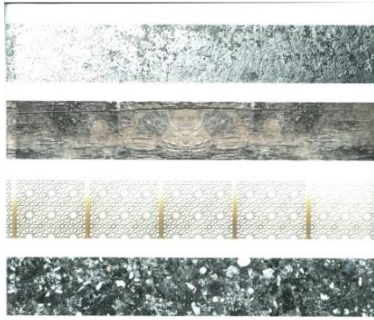
Τα μελάνια που χρησιμοποιούνται στην εκτυπωτική μηχανή είναι τα εξής: VERJET MU Cyan, VERJET MU Flush, VERJET MU Black, VERJET MU Magenta, VERJET MU Clear, VERJET MU White και VERJET MU Yellow.



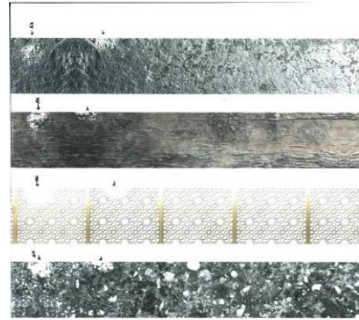
Εικόνα 40. Εκτυπωτική μηχανή Verve Mini by Colojet.

### Εκτύπωση δοκιμίων με την εκτυπωτική μηχανή Verve Mini by Colojet

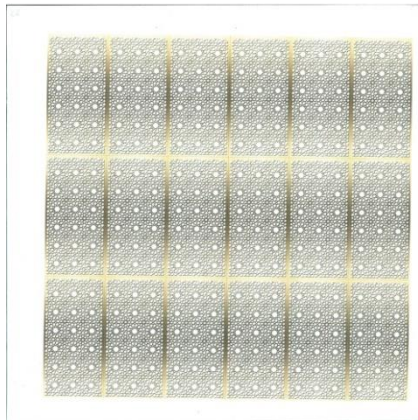
Όπως και στην πρώτη περίπτωση ψηφιακής εκτύπωσης, έτσι και σε αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα ποσοστά CMYK που αναφέρονται στο δοθέν ψηφιακό αρχείο. Με την συγκεκριμένη εκτυπωτική μηχανή πραγματοποιήθηκε η εκτύπωση των μοτίβων στα υποστρώματα αλουμινίου, τα οποία παρουσιάζονται στις παρακάτω ενδεικτικές εικόνες.



α. Δοκίμιο εκτυπωμένο με λωρίδες απομίμησης επιφανειών.



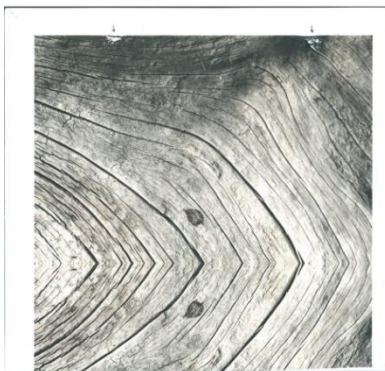
β. Δοκίμιο εκτυπωμένο λωρίδες απομίμησης επιφανειών.



γ. Δοκίμιο εκτυπωμένο με απομίμηση επιφάνειας χρυσού.



δ. Δοκίμιο εκτυπωμένο με το λογότυπο εταιρείας.



ε. Δοκίμιο εκτυπωμένο με απομίμηση επιφάνειας ξύλου.



στ. Δοκίμιο εκτυπωμένο με το λογότυπο εταιρείας.

Εικόνα 41(α, β, γ, δ, ε, στ). Εκτυπωμένα δοκίμια με την εκτυπωτική μηχανή Verve Mini by Colojet.

## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΚΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



## Έλεγχος ιδιοτήτων εκτυπωμένων δοκιμίων - Αποτελέσματα

Εφόσον οι διαδικασίες εκτύπωσης ολοκληρώθηκαν, ακολούθησαν μετρήσεις με σκοπό τον έλεγχο της πρόσφυσης των μελανιών, της αντοχής σε διαλύτες, της απόδοσης του χρώματος και των μηχανικών και χημικών αντοχών των υποστρωμάτων ανοδιωμένου αλουμινίου, που εκτυπώθηκαν με τις διαφορετικές εκτυπωτικές μεθόδους. Τα αποτελέσματα των ελέγχων στην πορεία θα μελετηθούν και θα αναλυθούν ώστε να προκύψουν σχόλια και παρατηρήσεις σχετικά με τα δοκίμια αλλά και με την καταλληλότητα των εκτυπωτικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν. Οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν στα εκτυπωμένα δοκίμια χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- ❖ Έλεγχος Οπτικών Ιδιοτήτων- Απόδοσης Χρώματος
- ❖ Έλεγχος πρόσφυσης- Μηχανικές Αντοχές
- ❖ Έλεγχος αντοχής σε διαλύτες-Χημικές Αντοχές
- ❖ Έλεγχος αντοχής στην διάβρωση με και χωρίς σφράγιση (Sealing)

Κάθε έλεγχος από τους παραπάνω πραγματοποιείται υπό ορισμένες συνθήκες ώστε τα αποτελέσματα να οδηγήσουν σε ορθά συμπεράσματα. Όλες οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες εργαστηρίου, ενώ λόγω της φύσης του υποστρώματος κατά την εφαρμογή των ελέγχων έγινε χρήση διαφόρων υλικών (γάντια, προστατευτικά επιφάνειας, λαβίδες κλπ.) ώστε να μην υπάρξουν αλλοιώσεις στην επιφάνεια του αλουμινίου από εξωτερικούς παράγοντες (ξένα σώματα, χάραξη κλπ.).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλα τα εκτυπωμένα θέματα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν κατά την μελέτη, όπως και ο κωδικός αναφοράς τους στα παρακάτω αποτελέσματα.

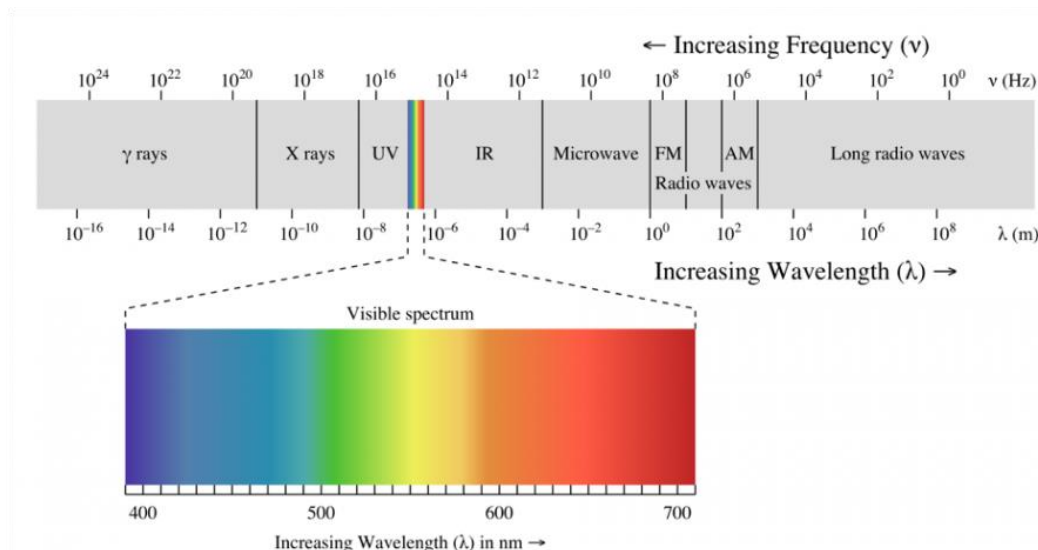
Πίνακας 11. Ονοματοθεσία εκτυπωμένων θεμάτων.

Εκτυπωμένο Θέμα	Ονομασία
Απομίμηση επιφάνειας Τσιμέντου 1	C1
Απομίμηση επιφάνειας Τσιμέντου 2	C2
Απομίμηση επιφάνειας Ξύλου 1	W1
Απομίμηση επιφάνειας Ξύλου 2	W2
Απομίμηση επιφάνειας Χρυσού μοτίβου	G
Λογότυπο ΠΑΔΑ (Logo UNIWA)	LU
Λογότυπο Convex ( Logo Convex)	LC
Απομίμηση επιφάνειας Τσιμέντου 1 Λωρίδα (Stripe)	SC1
Απομίμηση επιφάνειας Τσιμέντου 2 Λωρίδα (Stripe)	SC2
Απομίμηση επιφάνειας Ξύλου Λωρίδα (Stripe)	SW
Απομίμηση επιφάνειας Χρυσού μοτίβου Λωρίδα (Stripe)	SG
Τα σύμβολα * και ** που αναφέρονται αντιστοιχούν στην πρώτη I και την δεύτερη II κατηγορία ανοδίωσης.	

## 4.1. Έλεγχος Οπτικών Ιδιοτήτων-Απόδοση Χρώματος

### Φάσμα ορατού φωτός

Το φάσμα του ορατού φωτός αποτελεί εκείνο το τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας το οποίο είναι ορατό από το ανθρώπινο μάτι. Κυμαίνεται από περίπου 400 έως 700 nm, ενώ είναι γνωστό ως ορατό φάσμα ή φάσμα λευκού φωτός. Το μήκος κύματος που σχετίζεται με την συχνότητα και την ενέργεια, παράλληλα καθορίζει το αντιληπτό, από τον άνθρωπο, χρώμα.



Εικόνα 42. Φάσμα ορατού φωτός.

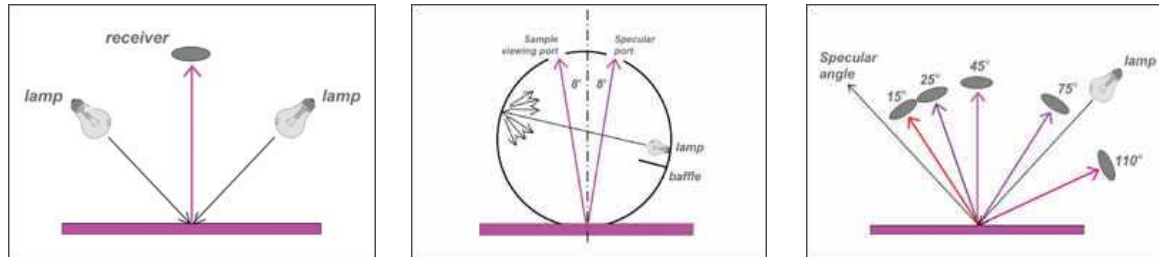
Η μέτρηση του χρώματος είναι γνωστή και ως χρωματομετρία ενώ στον συγκεκριμένο τομέα χρησιμοποιείται ένα πλήθος οργάνων μέτρησης. Το πιο εξελιγμένο από αυτά τα όργανα θεωρείται το φασματοφωτόμετρο το οποίο αναλύει το φως ως προς την ποσότητα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί σε κάθε μήκος κύματος του φάσματος.

### Φασματοφωτόμετρο

Το φασματοφωτόμετρο είναι ένα όργανο μέτρησης το οποίο «παγιδεύει» και αξιολογεί το χρώμα μιας εκτυπωμένης επιφάνειας. Αποτελεί μέρος του ποιοτικού ελέγχου της εκτύπωσης, καθώς μεγάλες εταιρείες σχεδίασης το χρησιμοποιούν για τον έλεγχο και τον καθορισμό του χρώματος, ενώ αντίστοιχα χρησιμοποιείται στις εκτυπωτικές μονάδες ώστε να υπάρχει συνέπεια μεταξύ των ποσοστών των χρωμάτων καθ' όλη την διάρκεια της εκτυπωτικής διαδικασίας.

Το φασματοφωτόμετρο χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο εύρος επιφανειών όπως πλαστικό, γυαλί, μέταλλο, ύφασμα κλπ. Αξίζει επίσης να αναφερθεί πως η καμπύλη της φασματικής ανάκλασης που λαμβάνεται με ένα φασματοφωτόμετρο, αποτελεί το «δακτυλικό αποτύπωμα» του χρώματος. Οι βασικοί τύποι φασματοφωτομέτρων διαφέρουν ανάλογα με την χρήση και την φορητότητά τους. Επίσης, το μέγεθος τους ποικίλει, καθώς υπάρχουν στο εμπόριο φορητές συσκευές αλλά και μεγάλα όργανα πάγκου.

Τα είδη του φασματοφωτόμετρου χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: το φασματοφωτόμετρο  $0^\circ/45^\circ$  (ή  $45^\circ/0^\circ$ ), το οποίο μετράει το φώς που ανακλάται υπό συγκεκριμένη γωνία προς το δείγμα, συνήθως υπό γωνία  $45^\circ$ , το σφαιρικό φασματοφωτόμετρο το οποίο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως για τραχιές επιφάνειες όπως πλακάκια, χαλιά, πλαστικό, λαμπερές επιφάνειες και τέλος το φασματοφωτόμετρο πολλαπλών γωνιών το οποίο χρησιμοποιείται για μετρήσεις σε επιφάνειες επικαλυμμένες με ειδικού τύπου χρωστικές.



Εικόνα 43. Είδη φασματοφωτόμετρου.

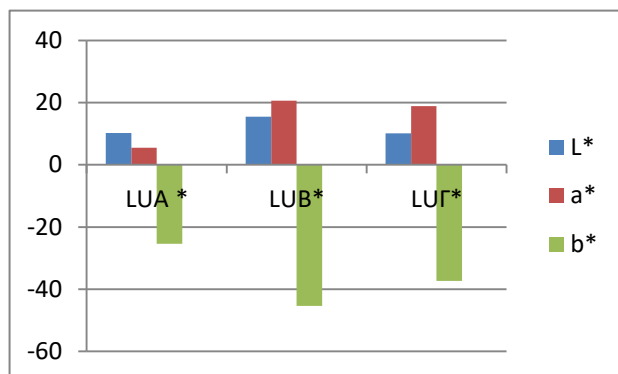
Στη συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκε το φορητό φασματοφωτόμετρο Spectro Eye (Gretag Macbeth).

### Αποτελέσματα μετρήσεων με το Φασματοφωτόμετρο των δοκιμών που εκτυπώθηκαν με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μετρήσεις και τα διαγράμματα που προέκυψαν από μετρήσεις με το φασματοφωτόμετρο σε δοκίμια που εκτυπώθηκαν με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές περιοχές, ανάλογα με την οικογένεια μελανιών (Α, Β, Γ), το εκτυπωμένο χρώμα X1 και X2, και το πάχος ανοδικού οξειδίου (συνθήκη Ι μικρό πάχος οξειδίου: 8-14 μm, συνθήκη ΙΙ μεγάλο πάχος οξειδίου: 15<sup>+</sup> μm) .

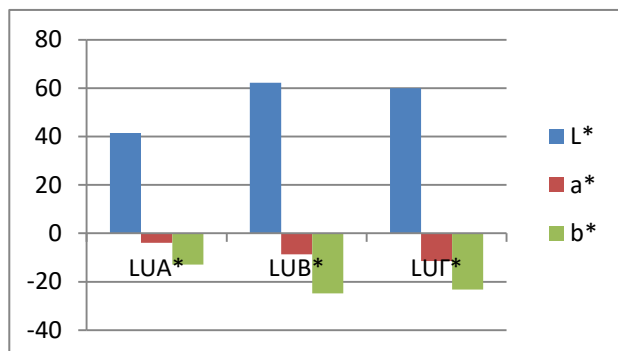
**Πίνακας 12. Πίνακας μετρήσεων και διάγραμμα χρωματικών παραμέτρων εκτυπωμένων δοκιμών (χρώμα X1), που έχουν υποστεί ανοδίωση (συνθήκες Ι).**

Μετρήσεις	Δοκίμια		
	LUA*	LUB*	LUG*
L*	10.24	15.44	10.12
a*	5.48	20.63	18.86
b*	-25.36	-45.35	-37.34



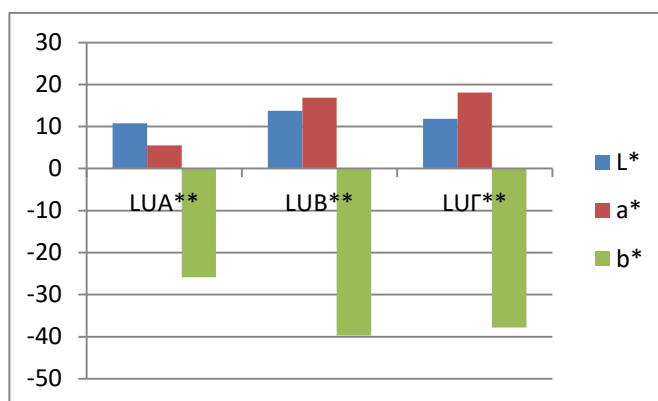
**Πίνακας 13. Πίνακας μετρήσεων και διάγραμμα χρωματικών παραμέτρων εκτυπωμένων δοκιμών (χρώμα X2), που έχουν υποστεί ανοδίωση (συνθήκες Ι).**

Μετρήσεις	Δοκίμια		
	LUA*	LUB*	LUG*
L*	41.43	62.18	60
a*	-3.85	-8.68	-11.38
b*	-12.91	-24.76	-23.27



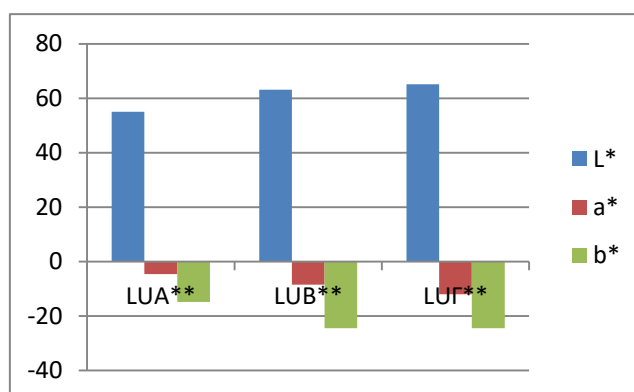
**Πίνακας 14. Πίνακας μετρήσεων και διάγραμμα χρωματικών παραμέτρων εκτυπωμένων δοκιμίων (χρώμα X1), που έχουν υποστεί ανοδίσωση (συνθήκες II).**

Μετρήσεις	Δοκίμια		
	LUA**	LUB**	LUG**
L*	10.78	13.71	11.84
a*	5.51	16.9	18.05
b*	-25.89	-39.71	-37.78



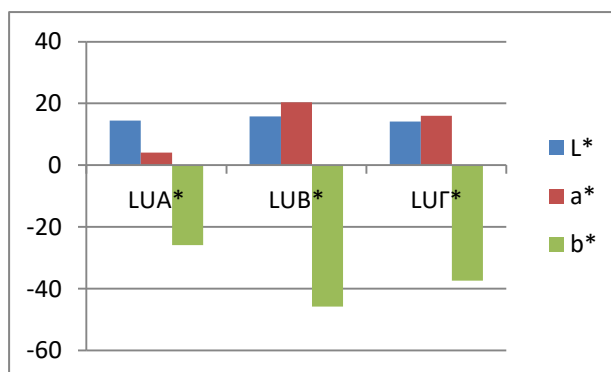
**Πίνακας 15. Πίνακας μετρήσεων και διάγραμμα χρωματικών παραμέτρων εκτυπωμένων δοκιμίων (χρώμα X2), που έχουν υποστεί ανοδίσωση (συνθήκες II).**

Μετρήσεις	Δοκίμια		
	LUA**	LUB**	LUG**
L*	55.06	63.12	65.13
a*	-4.6	-8.47	-11.93
b*	-14.81	-24.49	-24.41



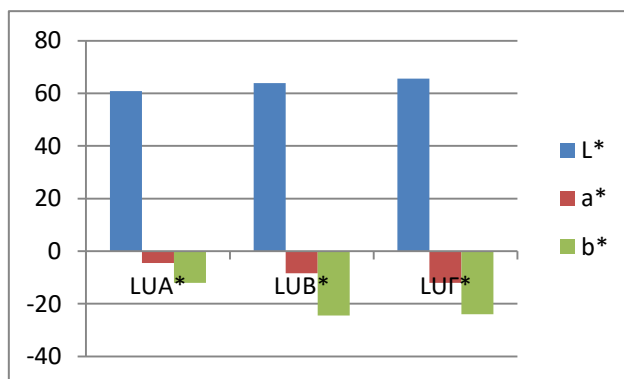
**Πίνακας 16. Πίνακας μετρήσεων και διάγραμμα χρωματικών παραμέτρων εκτυπωμένων δοκιμίων (χρώμα X1), που έχουν υποστεί ανοδίσωση (συνθήκες I).**

Μετρήσεις	Δοκίμια		
	LUA*	LUB*	LUG*
L*	14.43	15.81	14.11
a*	4.06	20.37	16.01
b*	-25.87	-45.75	-37.36



**Πίνακας 17. Πίνακας μετρήσεων και διάγραμμα χρωματικών παραμέτρων εκτυπωμένων δοκιμίων (χρώμα X2), που έχουν υποστεί ανοδίωση (συνθήκες I).**

Μετρήσεις	Δοκίμια		
	LUA*	LUB*	LUG*
L*	60.82	63.92	65.63
a*	-4.46	-8.39	-11.98
b*	-12.1	-24.47	-23.99



Στο *Διάγραμμα 12* πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ δοκιμίων που υπέστησαν ανοδική οξείδωση στις συνθήκες I, και διαθέτουν μικρό πάχος οξειδίου. Παρατηρείται ότι το δοκίμιο που εκτυπώθηκε με μελάνια που ανήκουν στην δεύτερη οικογένεια (Πολυουρεθανικό Μελάνι -Serilon) παρουσιάζει υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις άλλες δύο οικογένειες μελανιών.

Στο *Διάγραμμα 13* μελετάται το δεύτερο χρώμα εκτύπωσης στα ίδια δοκίμια, και παρατηρείται ότι και στην περίπτωση του χρώματος X2 το δοκίμιο LUB\* έχει μεγαλύτερες τιμές, ενώ με μικρή διαφορά παρουσιάζει καλά αποτελέσματα και το δοκίμιο LUG\*, που τυπώθηκε με Μελάνια Βινυλίου (Gloss Vinyl).

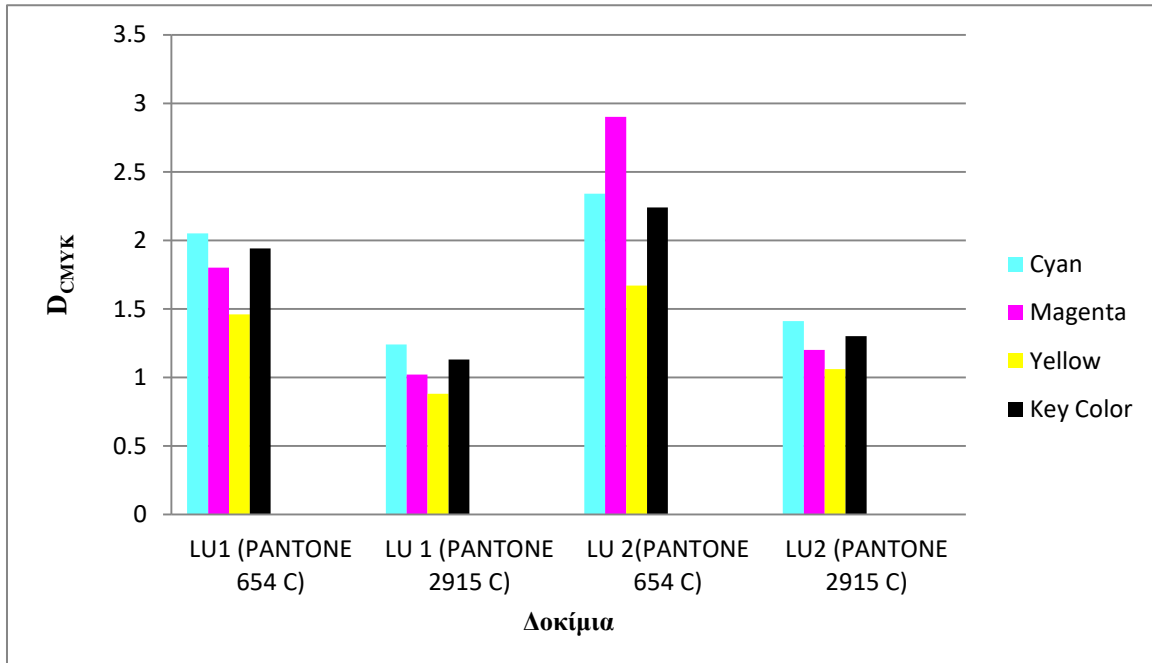
Στο *Διάγραμμα 14* όπως και στο 15 πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ δοκιμίων που υπέστησαν ανοδική οξείδωση στις συνθήκες II και έχουν μεγαλύτερο πάχος οξειδίου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μεγαλύτερα ποσοστά παρουσιάζει το δοκίμιο LUG\*.

Στο *Διάγραμμα 16* συγκρίνονται δοκίμια που υπέστησαν ανοδική οξείδωση στις συνθήκες I, κι έχουν μεγάλο πάχος οξειδίου. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρείται το πρώτο χρώμα εκτύπωσης, ενώ και σε αυτή την περίπτωση το δοκίμιο που τυπώθηκε με την δεύτερη οικογένεια μελανιών παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα. Αντίθετα, στο *Διάγραμμα 17* όπου πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των περιοχών των δοκιμίων που φέρουν το δεύτερο χρώμα, παρατηρούνται καλύτερα ποσοστά στο δοκίμιο LUG\*.

Συμπερασματικά, ως καταλληλότερες οικογένειες μελανιών για εκτύπωση επάνω σε ανοδιωμένο αλουμίνιο αποδεικνύονται τα πολυουρεθανικά μελάνια και τα μελάνια βινυλίου. Επιπλέον παρατηρείται πως παρά τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων των δοκιμίων, οι αποκλίσεις μεταξύ τους παραμένουν μικρές. Η καταλληλότητα των οικογενειών μελανιών βινυλίου και πολυουρεθανικών οφείλεται πιθανά στην καλύτερη απορρόφησή τους από το ανοδιωμένο υπόστρωμα, γεγονός στο οποίο συμβάλει οπωσδήποτε και το ιξώδες των μελανιών που χρησιμοποιήθηκαν.

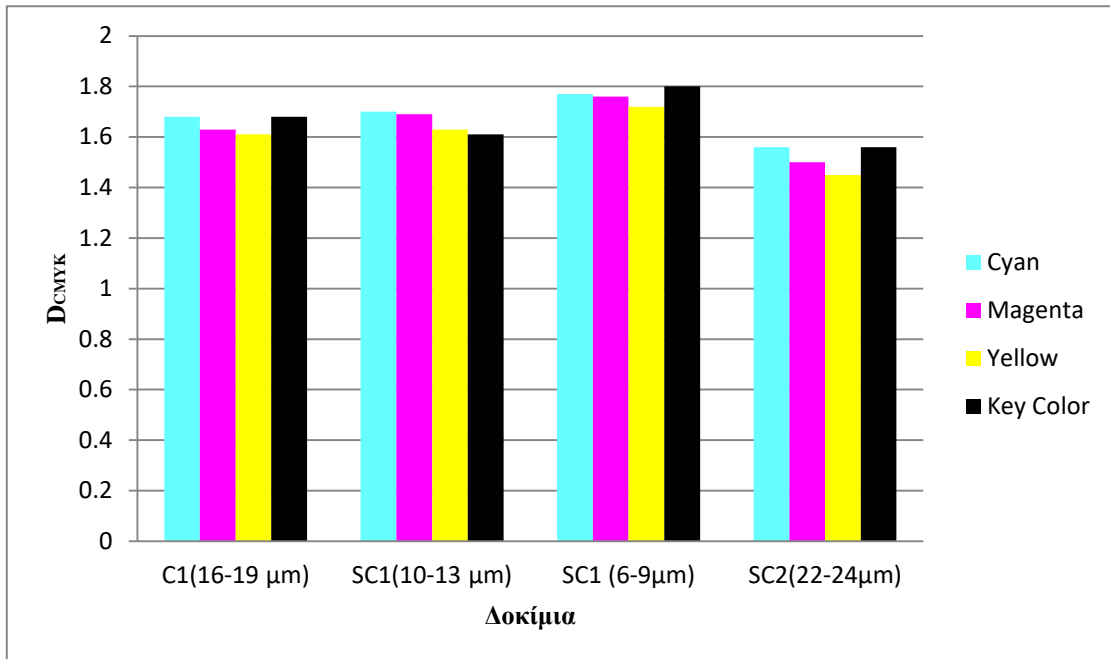
### Αποτελέσματα μετρήσεων με το Φασματοφωτόμετρο των δοκιμών που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με την μηχανή VUTEk QS3200

Ανάλογες μετρήσεις με τις προηγούμενες πραγματοποιήθηκαν και στα εκτυπωμένα δοκίμια της ψηφιακής εκτύπωσης. Τα δοκίμια θα παρουσιαστούν ανά ομάδες σύμφωνα με το εκτυπωτικό τους θέμα αλλά και με το εάν είναι τυπωμένα σε λωρίδες ή καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια αλουμινίου.



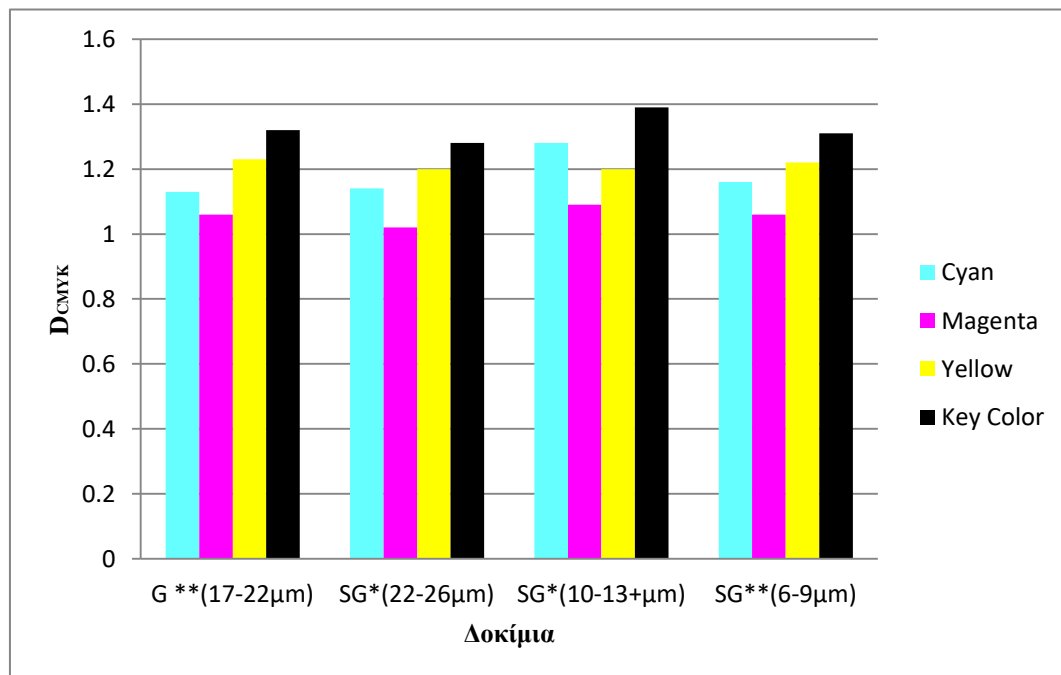
Διάγραμμα 18. Αποτελέσματα μετρήσεων πυκνότητας εκτύπωσης δοκιμών LU.

Στο Διάγραμμα 18 παρουσιάζονται οι τιμές πυκνότητας εκτύπωσης όπως προέκυψαν από το φασματοφωτόμετρο. Όπως παρατηρείται, το χρώμα X1 και στα δύο δοκίμια παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές, συγκριτικά με το χρώμα X2 που είναι ορατά πιο ανοιχτόχρωμο. Το δοκίμιο LU2 παρουσιάζει αυξημένες τιμές στα χρώματα X1 και X2.



Διάγραμμα 19. Αποτελέσματα μετρήσεων πυκνότητας εκτύπωσης δοκιμίων απομίμησης τσιμέντου (C1 και C2).

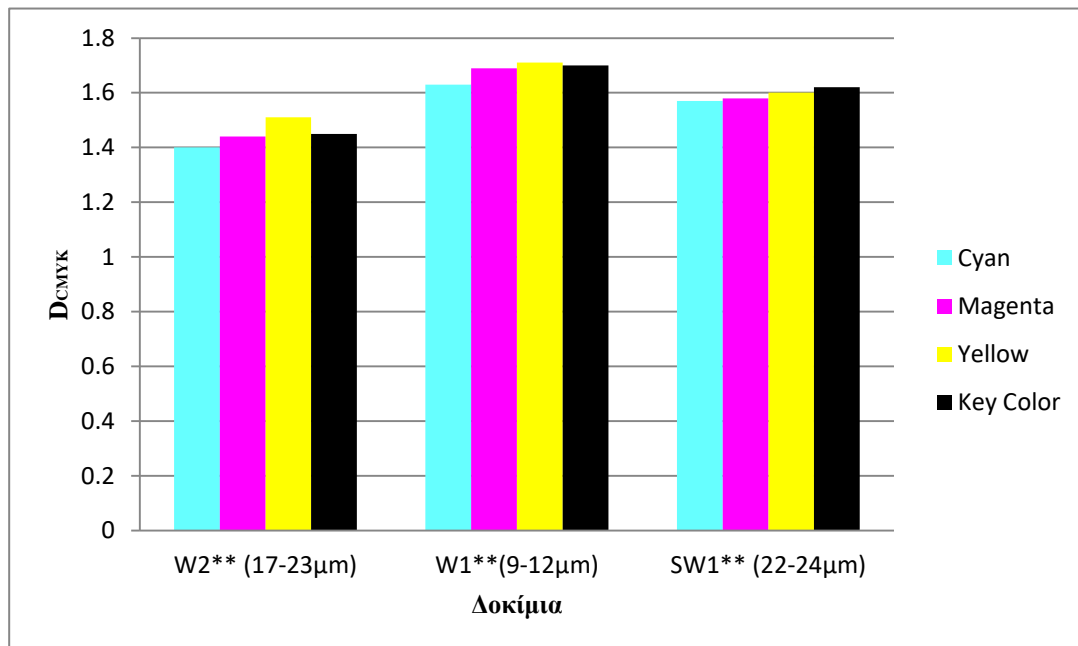
Στο Διάγραμμα 19 παρουσιάζονται τα δοκίμια που έχουν ως εκτυπωτικό θέμα την απομίμηση της επιφάνειας τσιμέντου (C1, C2). Αξίζει να αναφερθεί πως δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των τιμών των δοκιμίων, γεγονός που επιβεβαιώνει την ποιότητα και την πιστότητα καθ' όλη τη διάρκεια της εκτυπωτικής διαδικασίας (είτε είναι εκτυπωμένα σε μεγάλη επιφάνεια είτε σε λωρίδες και σε συνδυασμό με το θέμα προς εκτύπωση).



Διάγραμμα 20. Αποτελέσματα μετρήσεων πυκνότητας εκτύπωσης δοκιμίων απομίμησης χρυσού (G).



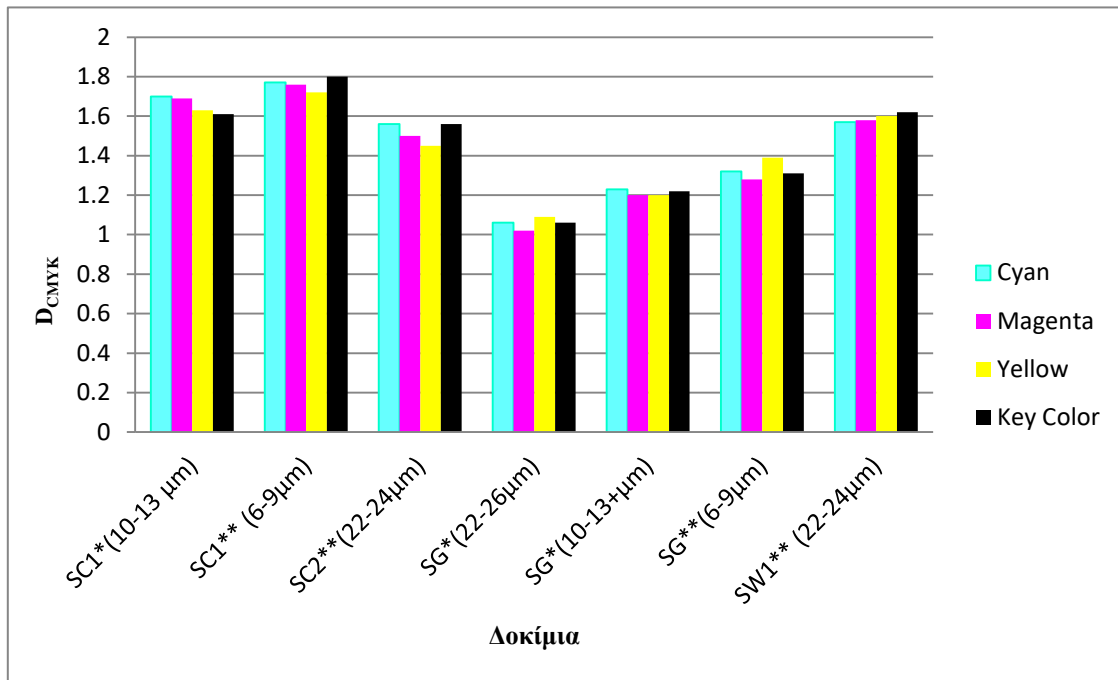
Παρόμοια ποιότητα εκτύπωσης παρατηρείται και στην απομίμηση του χρυσού μοτίβου στο *Διάγραμμα 21*, με υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται στα δοκίμια με μικρότερο πάχος οξειδίου.



**Διάγραμμα 21.** Αποτελέσματα μετρήσεων πυκνότητας εκτύπωσης δοκιμίων απομίμησης ξύλου (W).

Στο *Διάγραμμα 21*, που περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα των δοκιμίων απομίμησης της επιφάνειας ξύλου παρατηρούνται γενικά θετικά αποτελέσματα. Όλα τα δοκίμια έχουν υποστεί ανοδική οξείδωση στις συνθήκες II και παρά την διαφοροποίηση στα πάχη των οξειδίου τους, όπως φαίνεται στο *διάγραμμα 21*, τα αποτελέσματα των μετρήσεων δείχνουν ότι οι τιμές είναι υψηλά, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρείται στην περίπτωση του δοκιμίου με πάχος οξειδίου 9-12 μm και τις χαμηλότερες στην περίπτωση του δοκιμίου με πάχος οξειδίου 17-23 μm. Τα αποτελέσματα είναι αρκετά ικανοποιητικά καθώς στην περίπτωση αυτή πρέπει να ληφθεί υπόψη η δυσκολία αποτύπωσης του θέματος, που περιλαμβάνει πολλές λεπτομέρειες και είναι πολύ πιο απαιτητικό σε σχέση με ένα απλό λογότυπο που δεν περιλαμβάνει τόσο λεπτομέρειες.

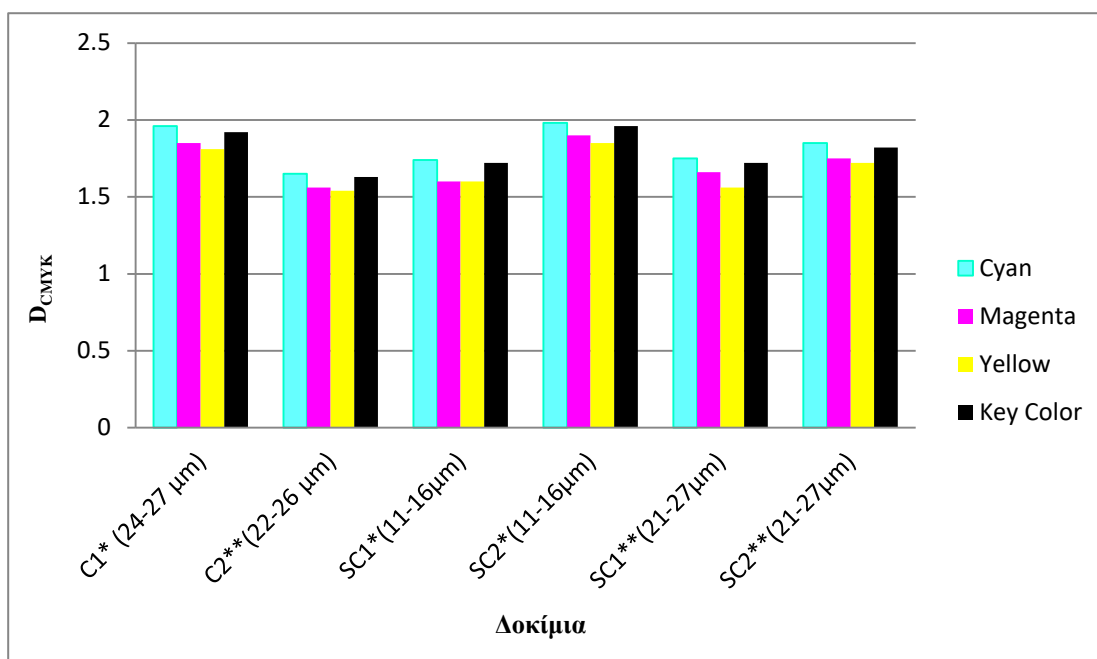
Στο *Διάγραμμα 22* συνοψίζονται όλα τα δοκίμια που έχουν εκτυπωθεί σε μορφή λωρίδας, ώστε να είναι δυνατή η συγκριτική παρατήρηση των εκτυπωμένων θεμάτων. Κατά τις μετρήσεις με το φασματοφωτόμετρο, οι μετρούμενες τιμές παρουσιάζουν μια διαφορετική εικόνα. Σε περιπτώσεις όπως της επιφάνειας του τσιμέντου (SC2) και του χρυσού μοτίβου (G) παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές στις χρωματικές παραμέτρους. Η διαφορά τους με τα υπόλοιπα θέματα είναι πως είναι διάτρητα (θέματα με περισσότερες λεπτομέρειες).



Διάγραμμα 22. Αποτελέσματα μετρήσεων – σύγκριση πυκνότητας εκτύπωσης δοκιμίων σε μορφή λωρίδας.

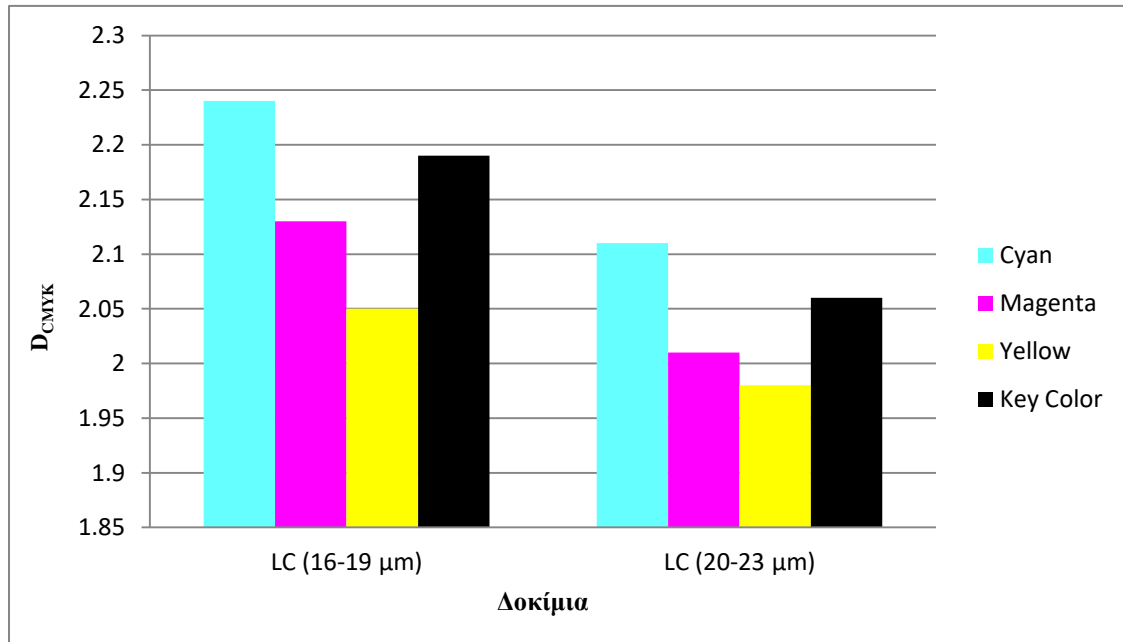
## Αποτελέσματα μετρήσεων με το Φασματοφωτόμετρο των δοκιμών που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με την μηχανή Verve Mini by Colojet

Στο Διάγραμμα 23 παρουσιάζονται τα δοκίμια με θέμα την απομίμηση της επιφάνειας τσιμέντου, τα οποία εμφανίζουν παρόμοια θετικά αποτελέσματα από τις μετρήσεις με το φασματοφωτόμετρο. Ωστόσο τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρούνται στα δοκίμια που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία ανοδίωσης (I). Τέλος, παρά το γεγονός διαφορετικότητας των εκτυπωμένων θεμάτων (C1, C2) δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις μετρούμενες τιμές της πυκνότητας print density. Επομένως τα δοκίμια απομίμησης της επιφάνειας του τσιμέντου αποτυπώνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια και χωρίς αποκλίσεις μεταξύ του συνόλου των δοκιμών που εκτυπώθηκαν με την ψηφιακή εκτύπωση.

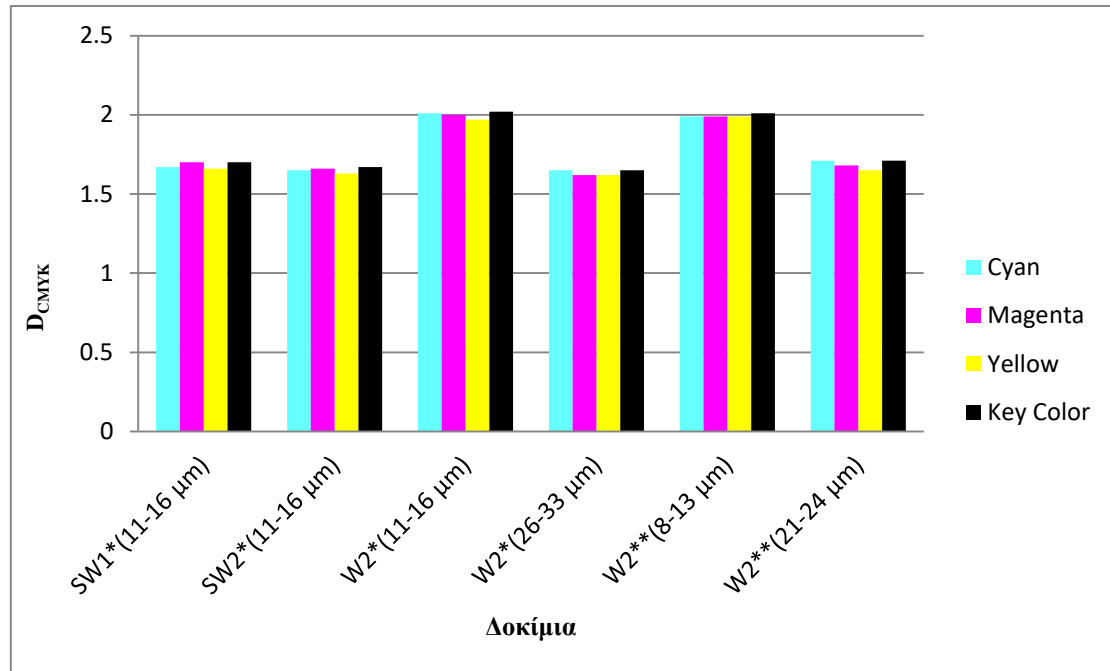


Διάγραμμα 23. Αποτελέσματα μετρήσεων πυκνότητας εκτύπωσης δοκιμών απομίμησης τσιμέντου (C1 και C2).

Στο Διάγραμμα 24 παρουσιάζονται τα δοκίμια που φέρουν το λογότυπο της εταιρείας που πραγματοποίησε την διαδικασία της ανοδίωσης (Convex). Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχουν ορατές διαφορές μεταξύ των μετρήσεων. Σημειώνεται ότι οι εκτυπώσεις έχουν προέλθει από την ίδια εκτυπωτική μηχανή, το χαρακτηριστικό στοιχείο της διαφοροποίησης μεταξύ των δοκιμίων είναι το διαφορετικό πάχος του οξειδίου τους.



Διάγραμμα 24. Αποτελέσματα μετρήσεων πυκνότητας εκτύπωσης των δοκιμίων LC.

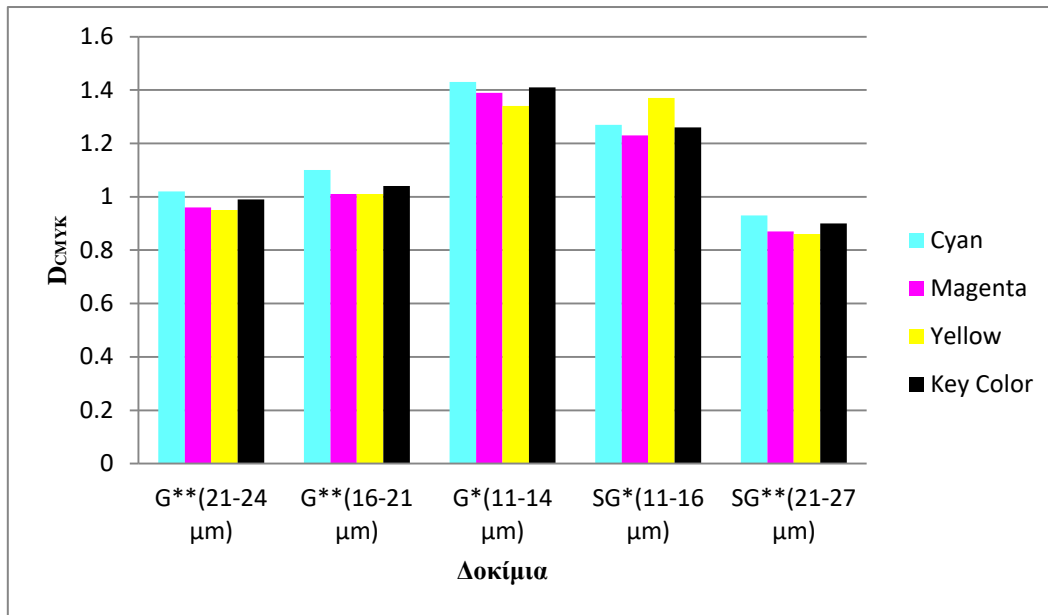


**Διάγραμμα 25. Αποτελέσματα μετρήσεων πυκνότητας εκτύπωσης δοκιμίων απομίμησης ξύλου(W).**

Στο *Διάγραμμα 25* παρουσιάζονται τα δοκίμια απομίμησης της επιφάνειας του ξύλου. Τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, ωστόσο καλύτερα αποτελέσματα παρουσιάζουν τα δοκίμια με μικρότερο πάχος οξειδίου. Αποτελεί ενδιαφέρον εύρημα αυτό καθώς το συγκεκριμένο πάχος οξειδίου που φέρουν τα δοκίμια (8-13 μm, 11-16 μm) είναι μικρότερο από το προτεινόμενο για λόγους προστασίας από τη διάβρωση και τη φθορά.

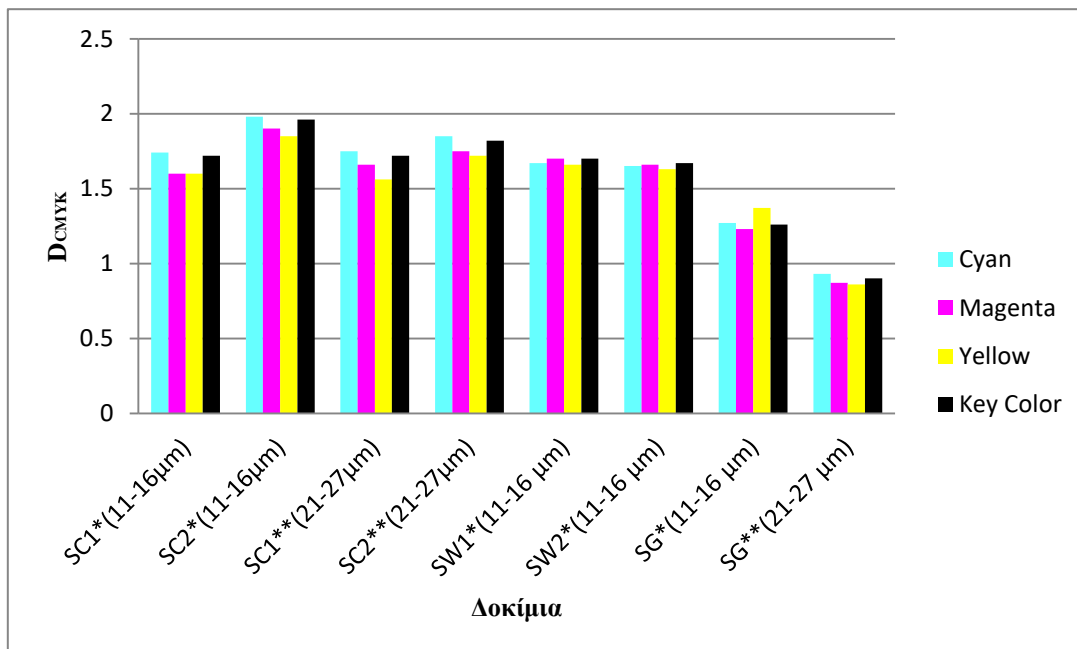
Επομένως φαίνεται ότι το πάχος του οξειδίου δεν επηρεάζει τόσο την χρωματική απόδοση όσο τις αντοχές των εκτυπωμένων δοκιμίων.

Παρόμοια θετικά αποτελέσματα εμφανίζουν και οι τιμές από τις μετρήσεις του *Διαγράμματος 26*. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στα συγκεκριμένα δοκίμια καθώς φέρουν ως εκτυπωτικό θέμα την απομίμηση χρυσού, που αποτελεί δύσκολο και ευαίσθητο θέμα ως προς την αντοχή του σε εξωτερικούς παράγοντες.



Διάγραμμα 26. Αποτελέσματα μετρήσεων πυκνότητας εκτόπωσης δοκιμίων απομίμησης χρυσού (G).

Τέλος, στο Διάγραμμα 27 παρουσιάζονται όλα τα δοκίμια που τα θέματα τους εκτυπώθηκαν σε μορφή λωρίδας. Παρατηρείται πως όλα έχουν παρόμοια αποτελέσματα μετρήσεων, με εξαίρεση το δοκίμιο απομίμησης χρυσού που παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές.



Διάγραμμα 27. Αποτελέσματα μετρήσεων δοκιμίων σε μορφή λωρίδας.

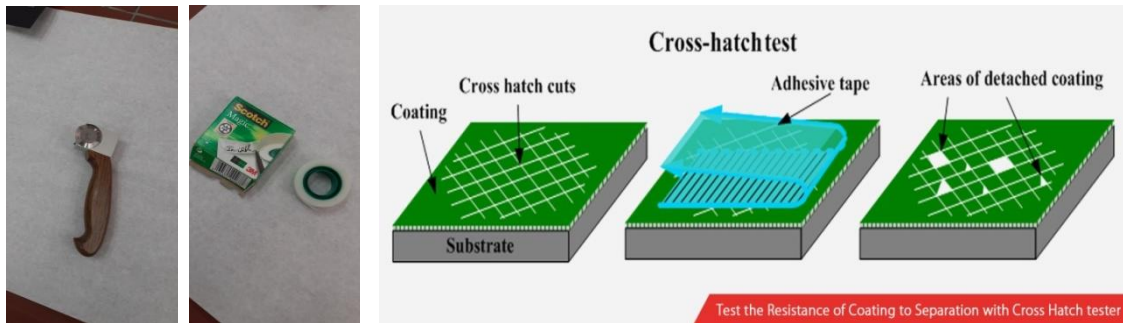
Συμπερασματικά, τα δοκίμια με μικρότερο πάχος οξειδίου παρουσίασαν υψηλότερες τιμές κατά τις μετρήσεις με την χρήση φασματοφωτόμετρου, συγκριτικά με τα δοκίμια μεγαλύτερου πάχους οξειδίου.

## 4.2. Έλεγχος μηχανικών αντοχών - δοκιμασία χάραξης, πρόσφυσης

### Υλικά Διαδικασίας

Η συγκεκριμένη δοκιμασία έχει στόχο της τον έλεγχο των μηχανικών αντοχών των εκτυπωμένων μελανιών επάνω στην επιφάνεια του ανοδικά οξειδωμένου αλουμινίου. Για την δοκιμασία χρησιμοποιήθηκαν τα εξής όργανα:

- ❖ Single Cutter A for cross-cut test (DIN 53151 and ISO 2409-1972)
- ❖ Scotch Magic 3M Adhesive Tape



Εικόνα 44. Όργανα και πρότυπο δοκιμασίας.

Ο έλεγχος πρόσφυσης με την διαδικασία cross-cut πραγματοποιήθηκε με χάραξη αλλά και χωρίς χάραξη, διατηρώντας σταθερή την δύναμη κόλλησης και αποκόλλησης της ταινίας σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D3359.

### Μεθοδολογία Διαδικασίας






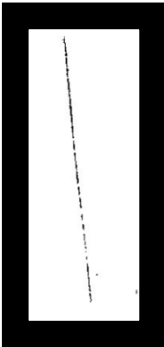
- Αρχικά το δοκίμιο προς μελέτη τοποθετήθηκε σε έναν σταθερό πάγκο εργαστηρίου προστατευμένο από εξωτερικούς παράγοντες, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης των αποτελεσμάτων. Κάτι τέτοιο είναι σημαντικό καθώς κατά την κόλληση και αποκόλληση της ταινίας δεν πρέπει να υπάρχουν ξένα σώματα στην επιφάνεια του δοκιμίου.
- Λόγω των μετρήσεων με δυο διαφορετικούς τρόπους, δηλαδή με χάραξη και χωρίς χάραξη, η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε διαφορετικές περιοχές του υποστρώματος. Σε άλλη περίπτωση, μια ήδη καταπονημένη περιοχή, θα ήταν πιο εύκολο να εμφανίσει αποκόλληση μέρους του μελανιού.
- Στην περιοχή όπου δεν πραγματοποιήθηκε χάραξη έγινε η κόλληση και η αποκόλληση της ταινίας με σταθερή δύναμη. Η ταινία αυτή, όπως και οι ταινίες στις περιοχές με χάραξη, αρχειοθετήθηκαν κατάλληλα, ώστε η εικόνα τους να αναλυθεί στη συνέχεια, μέσω κατάλληλου προγράμματος επεξεργασίας (Image J) για την εύρεση του ποσοστού % της επιφάνειας του εκτυπωμένου θέματος που αποκολλήθηκε.
- Για την χάραξη των περιοχών χρησιμοποιήθηκε το όργανο χάραξης Single Cutter A for cross-cut test, ενώ στη συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία κόλλησης και αποκόλλησης της ταινίας, αλλά και αρχειοθέτησης της ταινίας όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

### Αποτελέσματα ελέγχου πρόσφυσης-Μηχανικές αντοχές



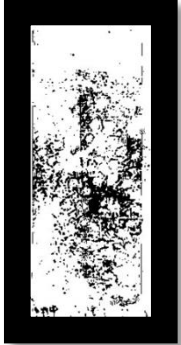


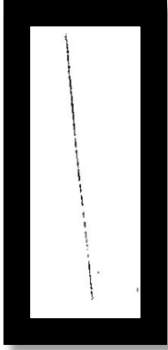


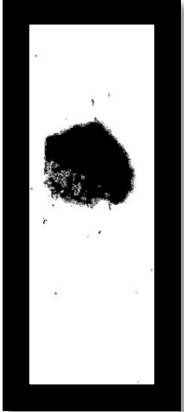
Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμασιών, όπως είναι ορατές με γυμνό μάτι καθώς και με την χρήση του προγράμματος (Image J), που χρησιμοποιήθηκε για την έκφραση των αποτελεσμάτων των ποσοστών % αποκόλλησης των εκτυπωμένων μελανιών από την επιφάνεια.



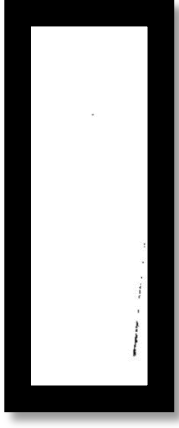


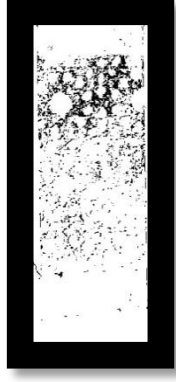
Όπως αποτυπώνεται στις φωτογραφίες των ταινιών από την δοκιμασία αποκόλλησης των εκτυπωμένων δοκιμίων που περιλαμβάνονται στον πίνακα που ακολουθεί, το ποσοστό της αποκόλλησης είναι μικρό, ωστόσο μέσω του προγράμματος (Image J), θα πραγματοποιηθεί λεπτομερής προσδιορισμός του ποσοστού αλλά και σύγκριση των ποσοστών μεταξύ δοκιμίων που προέκυψαν από διαφορετικές μεθόδους εκτύπωσης αλλά και μεταξύ δοκιμίων διαφορετικού πάχους οξειδίου.

Πίνακας 18. Αποτελέσματα από τη δοκιμασία αποκόλλησης δοκιμίων ανοδικά οξειδωμένου αλουμινίου, που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με τη μηχανή Verve Mini by Colorjet



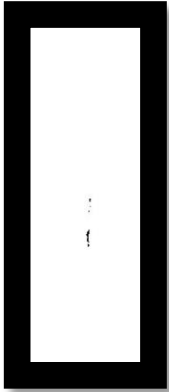
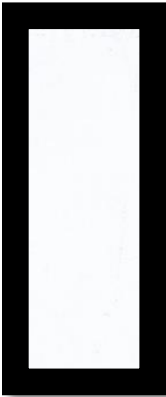

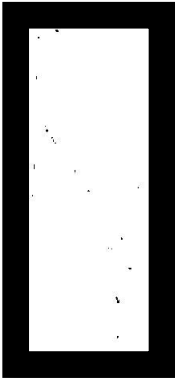


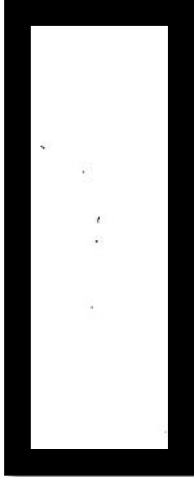
α/α Δοκιμίου	Συνθήκες Ανοδίωσης/ Πάχος Οξειδίου ( $\mu\text{m}$ )	Θέμα Εκτύπωσης	Έλεγχος πρόσφυσης-Μηχανικές αντοχές		Εικόνες από το πρόγραμμα Image J
			Χωρίς Χάραξη	Με Χάραξη	
1	1.6A/dm <sup>2</sup> / 21-27 $\mu\text{m}$	SC1			
2		SW			




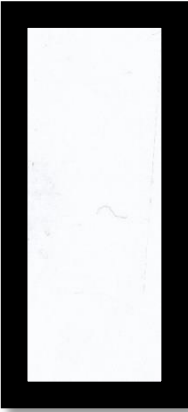

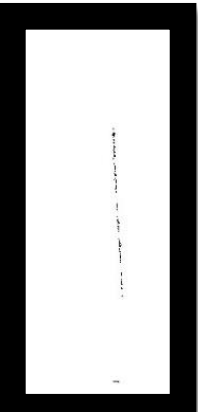


3		SW			
4		SC2			
5	1.4A/dm <sup>2</sup> /16-19μm	LC			






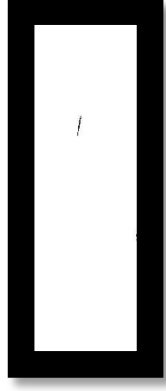


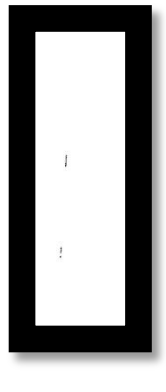
6	1.4A/dm <sup>2</sup> / 22-26μm	W			
7		G			

Πίνακας 19. Αποτελέσματα από τη δοκιμασία αποκόλλησης δοκιμίων ανοδικά οξειδωμένου αλουμινίου, που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με τη μηχανή VUTEk QS3200.

α/α Δοκίμιο υ	Συνθήκες Ανοδίωσης / Πάχος Οξειδίου ( $\mu\text{m}$ )	Θέμα Εκτύπωσης	Εικόνες από τον έλεγχο πρόσφυσης-Μηχανικές αντοχές		Εικόνες από το πρόγραμμα Image J
			Χωρίς Χάραξη	Με Χάραξη	
1	1.6A/dm <sup>2</sup> /15-18 $\mu\text{m}$	LU			
2	1.4A/dm <sup>2</sup> / 10-13+ $\mu\text{m}$	LG			
3		LC1			

4	1.6A/dm <sup>2</sup> / 21-27μm	LW			
5		LC2			

Πίνακας 20. Αποτελέσματα από τη δοκιμασία αποκόλλησης δοκιμίων ανοδικά οξειδωμένου αλουμινίου, που εκτυπώθηκαν με μεταξοτυπία.

α/α Δοκιμίου	Συνθήκες Ανοδίωσης/ Πάχος Οξειδίου (μm)	Θέμα Εκτύπωσης	Εικόνες από τον έλεγχο πρόσφυσης-Μηχανικές αντοχές		Εικόνες από το πρόγραμμα Image J
			Χωρίς Χάραξη	Με Χάραξη	
1	1.6A/dm <sup>2</sup> / 20-26μm	LU			
2		LU			
3	1.4A/dm <sup>2</sup> / 8-12μm	LU			

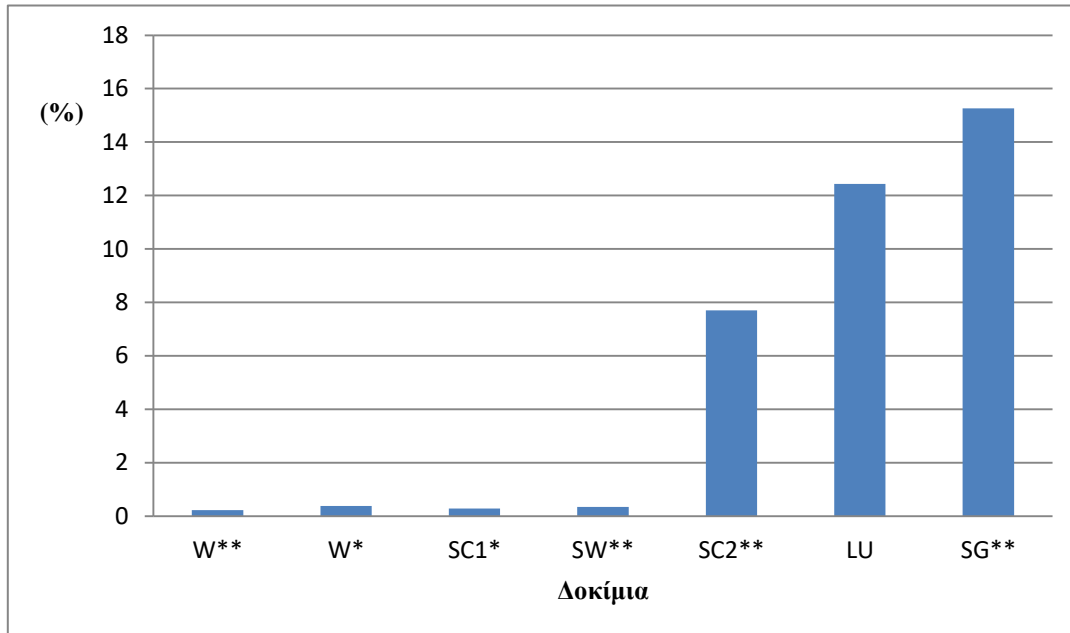
### Αποτελέσματα επεξεργασίας των μετρήσεων από τον έλεγχο πρόσφυσης δοκιμίων που εκτυπώθηκαν με την μηχανή Verve Mini by Colorjet

Από την επεξεργασία των μετρήσεων κατά τον έλεγχο πρόσφυσης των μελανιών που εκτυπώθηκαν σε δοκίμια από ανοδιωμένο αλουμίνιο προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα, με βάση τα οποία μπορούν να εξαχθούν ποσοτικά και πιο αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με την ποιότητα της εκτύπωσης και την καταλληλότητα των εκτυπωτικών μεθόδων που επιλέχθηκαν για την πραγματοποίηση της μελέτης.

Παρακάτω αναλύονται σε δύο γραφήματα τα ποσοστά αποκόλλησης, όπως αυτά προέκυψαν μετά την επεξεργασία των εικόνων με το πρόγραμμα Image J. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, τα δοκίμια κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

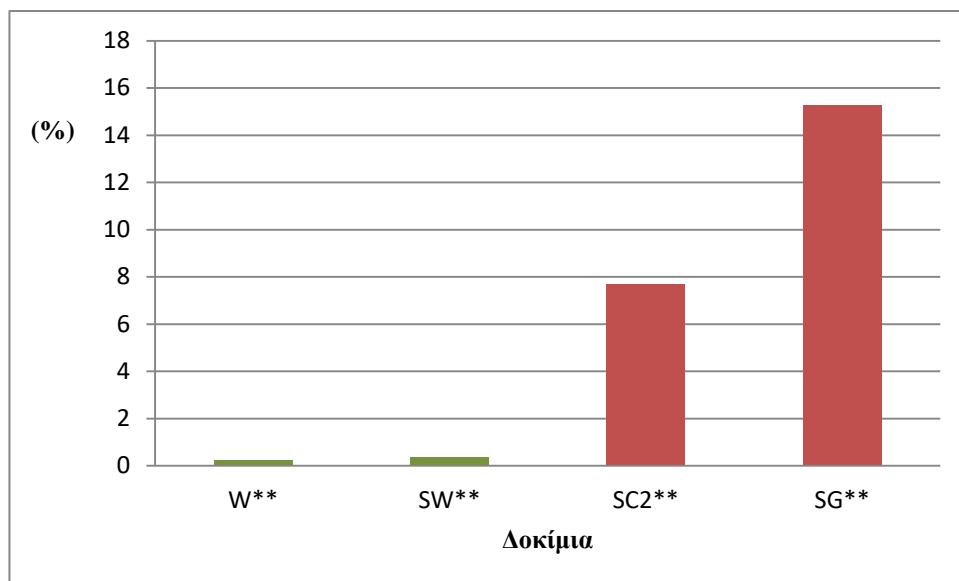
Κατηγορίες	Κριτήρια Αξιολόγησης
5B	Η περιοχή της χάραξης δεν παρουσιάζει σημάδια αποκόλλησης.
4B	Το ποσοστό αποκόλλησης είναι μικρότερο από 5%, ενώ εμφανίζονται μικρά σημάδια αποκόλλησης του μελανιού από την επιφάνεια.
3B	Το ποσοστό αποκόλλησης κυμαίνεται μεταξύ 5-15%, με το μελάνι να αποκολλάται από την περιοχή της χάραξης.
2B	Το ποσοστό αποκόλλησης κυμαίνεται μεταξύ 15-35%, παρατηρείται ξεφλούδισμα σε μεγάλο μέρος της επιφάνειας στην οποία πραγματοποιήθηκε η χάραξη.
1B	Το ποσοστό αποκόλλησης κυμαίνεται μεταξύ 35-65% , ενώ έχει απομακρυνθεί μεγάλο μέρος του μελανιού από την επιφάνεια.
0B	Η αποκόλληση και το ξεφλούδισμα παρουσιάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό ακόμη και από την κατηγορία 1B.

Στο Διάγραμμα 11 παρουσιάζονται τα ποσοστά αποκόλλησης όλων των δοκιμίων, τα οποία ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες από την 4B αποκόλλησης, όπως αναφέρθηκαν στον παραπάνω πίνακα. Τα περισσότερα από τα δοκίμια να ανήκουν στο σύνολό τους στην κατηγορία 4B λόγω του μικρού ποσοστού αποκόλλησης, ενώ όπως παρουσιάζεται και στο διάγραμμα μόνο τα δοκίμια SC2\*\*, LU και SG\* εμφανίζουν μεγάλο ποσοστό αποκόλλησης, που τους κατατάσει στην κατηγορία 2B.



**Διάγραμμα 11. Αποτελέσματα μετρήσεων- ποσοστά αποκόλλησης δοκιμίων που εκτυπώθηκαν με την μηχανή Verve Mini by Colorjet.**

Ωστόσο, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη και η σύγκριση των ποσοστών αποκόλλησης από δοκίμια που έχουν υποστεί ανοδίωση κάτω από τις ίδιες συνθήκες, όπως τα δοκίμια της κατηγορίας II (\*\*), τα οποία έχουν υποστεί ανοδική οξειδωση στις ίδιες συνθήκες (ρεύματος, θερμοκρασίας), αλλά έχουν μεγάλο πάχος οξειδίου ( $15\mu\text{m}^+$ ). Στη συνέχεια, θα πραγματοποιηθεί ανάλυση των αποτελεσμάτων αποκόλλησης κατά ομάδες με βάση το εκτυπωμένο θέμα αλλά και εάν πρόκειται για εκτύπωση σε λωρίδα.

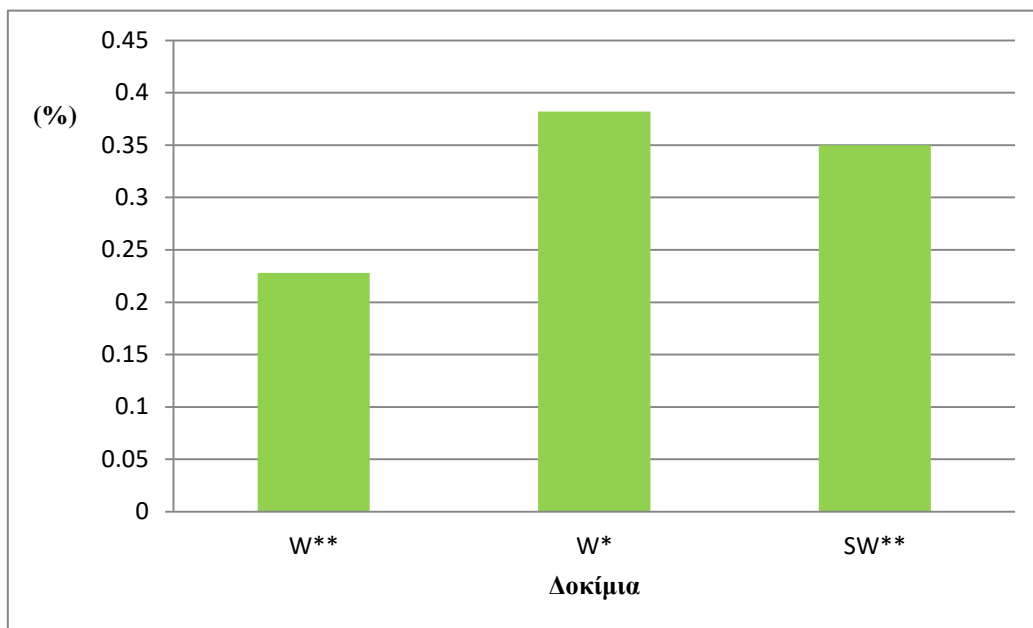


**Διάγραμμα 12. Αποτελέσματα μετρήσεων: σύγκριση ποσοστών αποκόλλησης μεταξύ των δοκίμιων που εκτυπώθηκαν με την μηχανή Verve Mini by Colorjet.**

Από τα παραπάνω ποσοστά αποκόλλησης αξίζει να σημειωθεί πως τα εκτυπωμένα θέματα SC1\*\*, SW\*\*, SC2\*\* και SG\*\* ανήκουν στο ίδιο δοκίμιο. Έχοντας ως γνώμονα την παραπάνω πληροφορία, προκύπτει ένα ασφαλές συμπέρασμα ως προς την ανταπόκριση του επιλεγμένου θέματος εκτύπωσης στην δοκιμασία αποκόλλησης. Πιο συγκεκριμένα, τα εκτυπωμένα θέματα SC2\*\* και SG\*\* είναι διάτρητα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι στην εκτύπωση αυτή χρησιμοποιούνται επιπλέον χρώματα, ώστε να δημιουργηθεί η απομίμηση τσιμέντου και χρυσού αντίστοιχα, φαίνεται να τα καθιστά περισσότερο ευάλωτα και λιγότερο ανθεκτικά στις δοκιμασίες στις οποίες υποβλήθηκαν. Στο γεγονός αυτό ίσως να συμβάλει και η μέθοδος εκτύπωσης, η οποία αν και παρουσιάζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στα υπόλοιπα θέματα εκτύπωσης, ωστόσο σε θέματα με μεγαλύτερη λεπτομέρεια υστερεί τόσο στην αποτύπωση όσο και στην σταθερότητα στις δοκιμασίες μηχανικών αντοχών.

Τέλος, τα δοκίμια με τους κωδικούς SC1\*\* και W\*\* παρουσιάζουν μικρότερα ποσοστά αποκόλλησης και ανήκουν στην κατηγορία 4B σε αντίθεση με τα SC2\*\* και SG\*\*, που έδειξαν μεγαλύτερα ποσοστά, και ανήκουν στην γενική κατηγορία 2B (με ποσοστό αποκόλλησης από 15% και πάνω), αποτέλεσμα το οποίο δεν είναι επιθυμητό.



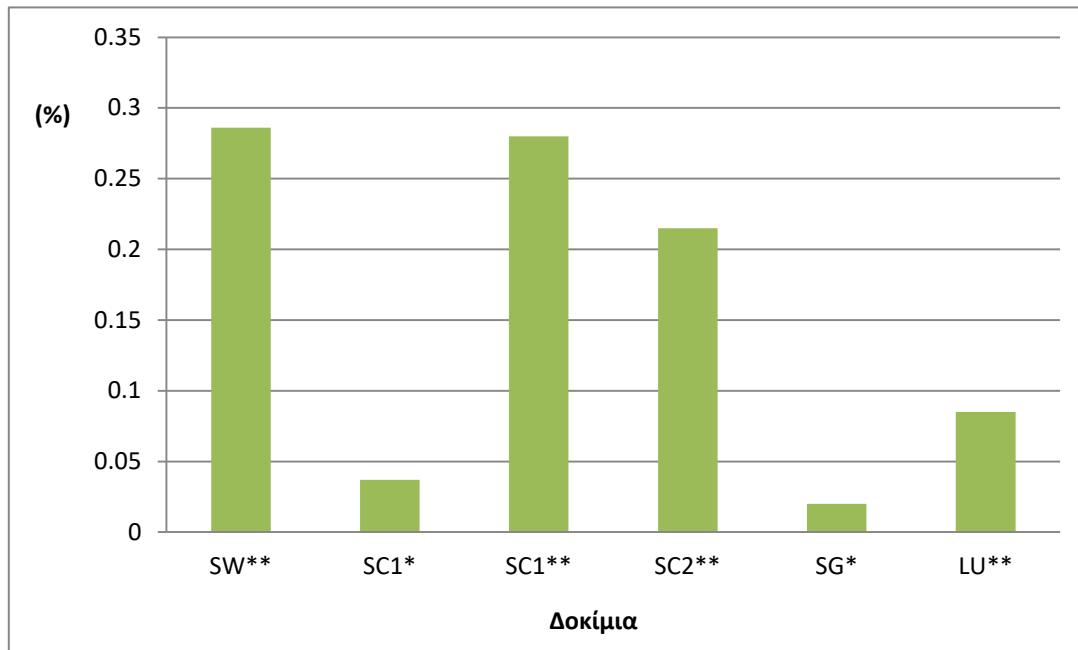


**Διάγραμμα 13. Αποτελέσματα μετρήσεων: δοκίμια που εκτυπώθηκαν με την μηχανή Verve Mini by Colorjet και εμφανίζουν μικρό ποσοστό αποκόλλησης.**

Στο *Διάγραμμα 13* παρουσιάζονται τα δοκίμια που φέρουν την επιφάνειά τους την απομίμηση ξύλου. Το εκτυπωμένο θέμα απομίμησης ξύλου που επιλέχθηκε δεν είναι διάτρητο ενώ επιπλέον δεν φέρει ακραίες χρωματικές διαβαθμίσεις, γεγονός που το καθιστά πιο ανθεκτικό στις δοκιμασίες. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί πως σε εκτυπωμένες ανοιχτόχρωμες εκτυπωμένες περιοχές του δοκιμίου η αντοχή είναι μικρότερη σε σχέση με τις πιο σκουρόχρωμες περιοχές. Στη μικρή αντοχή πιθανόν να συμβάλουν τα χαρακτηριστικά της εκτυπωτικής μηχανής που επιλέχθηκε καθώς όπως παρουσιάζεται και στη συνέχεια τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτύπωση με την εκτυπωτική μηχανή VUTEK QS3200 είναι αρκετά καλύτερα.

### Αποτελέσματα Μετρήσεων δοκιμών που εκτυπώθηκαν με την μηχανή VUTEk QS3200.

Στα δοκίμια που εκτυπώθηκαν με την εκτυπωτική μηχανή VUTEk QS3200 παρατηρούνται καλύτερες αντοχές όσον αφορά την δοκιμασία αποκόλλησης, κάτι που συνεπάγεται χαμηλότερα ποσοστά αποκόλλησης. Όπως παρατηρείται από τον πίνακα και το διάγραμμα, που ακολουθούν, το ποσοστό αποκόλλησης είναι μικρότερο από 1%, γεγονός που κατατάσσει τα αντίστοιχα δοκίμια στην κατηγορία 4B. Επιπλέον με την ίδια εκτυπωτική μηχανή τυπώθηκε και η απομίμηση χρυσού, η οποία με την προηγούμενη εκτυπωτική μηχανή παρουσίασε υψηλό ποσοστό αποκόλλησης (κατάταξη δοκιμίου στην κατηγορία 2B).



Διάγραμμα 14. Αποτελέσματα μετρήσεων: ποσοστά αποκόλλησης δοκιμών που εκτυπώθηκαν με την μηχανή VUTEk QS3200.

Συμπερασματικά, η δεύτερη εκτυπωτική μηχανή (VUTEk QS3200) αποδίδει δοκίμια με καλύτερα ποσοστά αποκόλλησης δηλαδή μηχανικών αντοχών των εκτυπωμένων θεμάτων τους συγκριτικά με την πρώτη (Verve Mini by Colorjet). Σε αυτό το γεγονός πιθανά να συμβάλει η διαφοροποίηση της τεχνικής σταθεροποίησης των χρωμάτων μεταξύ των δύο διαφορετικών εκτυπωτικών μηχανών.

### 4.3. Έλεγχος χημικών αντοχών - δοκιμασία σε διαλύτες

#### Υλικά Διαδικασίας

Για τον έλεγχο των χημικών αντοχών του εκτυπωμένου μετάλλου χρησιμοποιήθηκαν δυο κοινοί οργανικοί διαλύτες, ακετόνη και αιθανόλη. Ο έλεγχος αυτός της αντοχής των μελανιών στους διαλύτες θα συμβάλουν στην καλύτερη εκτίμηση της επιλογής τόσο για τις συγκεκριμένες κατηγοριών μελανιών, όσο και για τις συγκεκριμένες εκτυπωτικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.

#### Μεθοδολογία Διαδικασίας





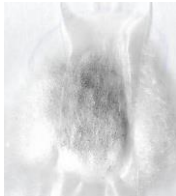





- Μετά την ολοκλήρωση του ελέγχου των μηχανικών αντοχών των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε σε διαφορετικές περιοχές έλεγχος αντοχής σε διαλύτες. Οι συνθήκες εργαστηρίου παραμένουν οι ίδιες.
- Τοποθετώντας μερικές σταγόνες από τον διαλύτη σε βαμβάκι, πραγματοποιείται τριβή, σταθερής δύναμης, στην εκτυπωμένη περιοχή.
- Η τριβή με τους διαφορετικούς διαλύτες πραγματοποιείται σε διαφορετικές περιοχές του υποστρώματος.
- Ακολουθεί καταγραφή για την περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων, που παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

#### Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Τα περισσότερα από τα δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν στην δοκιμασία ελέγχου χημικών αντοχών παρουσίασαν παρόμοια ευρήματα. Γενικά, το εκτυπωμένο μελάνι των περιοχών που υποβλήθηκαν σε δοκιμασία φαίνεται να απομακρύνεται από την επιφάνεια κατά την δοκιμασία, ωστόσο αξίζει να μελετηθούν εκτενέστερα ορισμένες περιπτώσεις, καθώς εμφανίζονται συγκεκριμένες διαφοροποιήσεις. Πιο αναλυτικά, οι διαφοροποιήσεις, φαίνεται να οφείλονται στις διαφορετικές συνθήκες ανοδίωσης ή εκτύπωσης (συνθήκες ανοδίωσης, πάχος οξειδίου, μέθοδος εκτύπωσης, είδος μελανιού εκτύπωσης).

**Αποτελέσματα ελέγχου αντοχής στους διαλύτες δοκιμίων που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με την εκτυπωτική μηχανή Verve Mini by Colojet**

**Πίνακας 21. Αποτελέσματα δοκιμασίας στους διαλύτες δοκιμίων που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με την εκτυπωτική μηχανή Verve Mini by Colojet. Συνθήκες ανοδίου/Πάχος οξειδίου: 1.6A/dm<sup>2</sup> / 19-22μm .**

α/α Δοκιμίου	Θέμα Εκτύπωσης	Εικόνες από τον έλεγχο αντοχής σε διαλύτες (βαμβάκι)	
		Ακετόνη	Αιθανόλη
1	W		
2	SC1		
3	SW		
4	SG		
5	SC		

6	LG		
---	----	---	--

#### Δοκίμιο 1








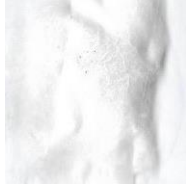


Κατά τον έλεγχο των χημικών αντοχών του δοκιμίου 1 παρατηρήθηκε πως το ποσοστό του μελανιού που απομακρύνθηκε από την επιφάνεια είναι συγκριτικά μικρότερο σε σχέση με τα άλλα δοκίμια, όπου ο διαλύτης κατάφερε να αφαιρέσει όλη την εκτύπωση από την συγκεκριμένη περιοχή. Από τους διαλύτες που χρησιμοποιήθηκαν αποδείχτηκε ότι στην συγκεκριμένη δοκιμασία η πιο δραστική ήταν η ακετόνη. Αξίζει να σημειωθεί πως το συγκεκριμένο δοκίμιο έχει πάχος οξειδίου 19-22 $\mu\text{m}$ , που είναι ένα επιθυμητό πάχος οξειδίου (15-20  $\mu\text{m}$ ) για εμπορικές εφαρμογές. Τέλος, κατά την τριβή παρατηρήθηκε ένα ξεφλούδισμα του μελανιού από την επιφάνεια, γεγονός που αποδίδεται στο είδος της εκτυπωτικής μεθόδου (ψηφιακή εκτύπωση) και του είδους μελανιού.

#### Δοκίμια 2-6

Στα συγκεκριμένα δοκίμια δεν παρατηρείται κάποια διαφοροποίηση ως προς την συμπεριφορά τους κατά την δοκιμασία. Επομένως, όλα τα δοκίμια επέδειξαν ικανοποιητικές αντοχές. Παρατηρήθηκε μια μικρή απομάκρυνση μελανιού ωστόσο δεν συνοδεύτηκε από ξεφλούδισμα κατά την τριβή.

**Αποτελέσματα ελέγχου αντοχής δοκιμίων που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με την εκτυπωτική μηχανή VUTEk QS3200.**

**Πίνακας 21. Αποτελέσματα ελέγχου αντοχής των δοκιμίων ψηφιακής εκτύπωσης με την εκτυπωτική μηχανή VUTEk QS3200.**

α/α Δοκιμίου	Συνθήκες Ανοδίωσης/ Πάχος Οξειδίου ( $\mu\text{m}$ )	Θέμα Εκτύπωσης	Έλεγχος αντοχής σε διαλύτες	
			Ακετόνη	Αιθανόλη
1	1.4A/dm <sup>2</sup> /15-18 $\mu\text{m}$	LU		
2	1.4A/dm <sup>2</sup> / 10-13+ $\mu\text{m}$	SG		
3		SC1		
4	1.6A/dm <sup>2</sup> /21-27 $\mu\text{m}$	SW		
5		SC2		









6	1.4A/dm <sup>2</sup> / 22-26μm	W		
---	-----------------------------------	---	---	---

### **Δοκίμια 1-6-Ψηφιακή Εκτύπωση**















Το δοκίμια 1 έως 6 που εκτυπώθηκαν ψηφιακά με την μηχανή (VUTEk QS3200), παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά μεταξύ τους κατά την δοκιμασία. Το ξεφλούδισμα στα δοκίμια αυτά ήταν πιο έντονο, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, η διαφορά στην εκτυπωμένη περιοχή δεν ήταν ορατή με γυμνό μάτι. Μεγαλύτερη ευαισθησία στους διαλύτες παρατηρήθηκε στο *Δοκίμιο 2*, στην χρυσή λωρίδα, όπου λόγω της φύσης του τυπωμένου θέματος, το μελάνι αφαιρέθηκε με μεγάλη ευκολία κατά τη χρήση διαλύτη συγκριτικά με τα άλλα τυπωμένα θέματα. Το ίδιο ισχύει και για το *Δοκίμιο 6*, με εκτυπωμένο θέμα την απομίμηση ξύλου (W1). Όπως και στις υπόλοιπες περιπτώσεις, η ακετόνη αποδείχτηκε πιο δραστική από την αιθανόλη. Επομένως, τα αποτελέσματα αντοχής είναι καλύτερα με την χρήση αιθανόλης συγκριτικά με την χρήση ακετόνης.

**Αποτελέσματα ελέγχου αντοχής στους διαλύτες δοκιμίων εκτυπωμένων με τη μέθοδο της μεταξοτυπίας**

**Πίνακας 22. Αποτελέσματα ελέγχου αντοχής στους διαλύτες δοκιμίων εκτυπωμένων με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας (Εκτυπωμένο θέμα: LU).**

α/α Δοκιμίου	Συνθήκες Ανοδίωσης/ Πάχος Οξειδίου ( $\mu\text{m}$ )	Έλεγχος αντοχής σε διαλύτες	
		Ακετόνη	Αιθανόλη
1a	1.4A/dm <sup>2</sup> / 27-31 $\mu\text{m}$		
1b			
2a	1.4A/dm <sup>2</sup> / 5-8 $\mu\text{m}$		
2b			



3a	1.6A/dm <sup>2</sup> / 20-26μm		
3b			
4a	1.4A/dm <sup>2</sup> / 27-31μm		
4b			
5a	1.4A/dm <sup>2</sup> / 8-12μm		
5b			
6a	1.6A/dm <sup>2</sup> / 20-26μm		



### Δοκίμια που εκτυπώθηκαν με την μέθοδο της Μεταξοτυπίας

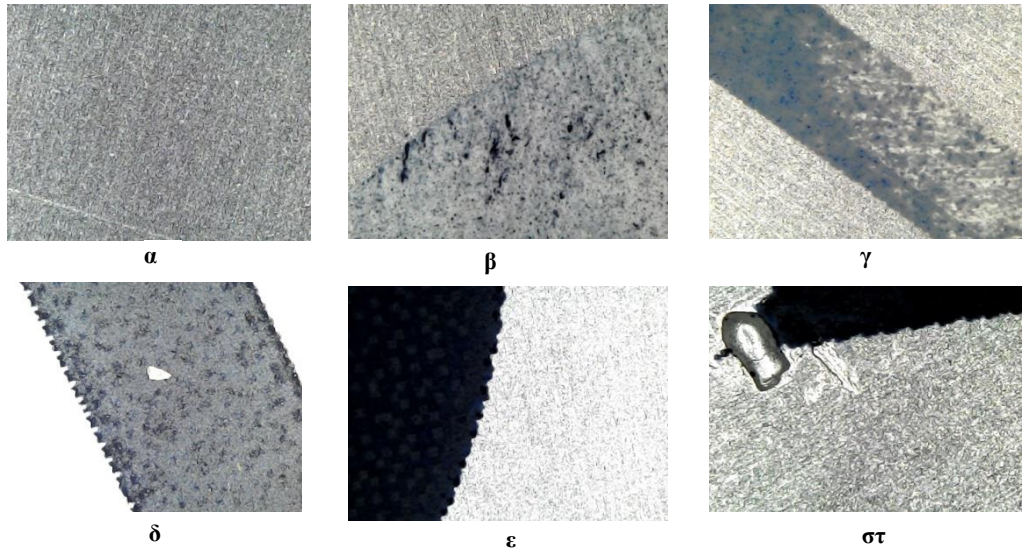
#### Δοκίμια 1a-6b

Τα δοκίμια που εκτυπώθηκαν με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας παρά το γεγονός ότι τυπώθηκαν με τρεις διαφορετικές οικογένειες μελανιών, παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα κατά την τριβή τους με διαλύτες. Τα μελάνια απομακρύνθηκαν με σχετική ευκολία, ωστόσο όπως παρατηρείται και στα αποτελέσματα του πίνακα οι δοκιμασίες εφαρμόστηκαν σε δύο περιοχές του κάθε δοκιμίου, οι οποίες αντιστοιχούν στα δύο διαφορετικά χρώματα που φέρει το λογότυπο του ΠΑΔΑ. Στην δεύτερη περιοχή του κάθε δοκιμίου που αντιστοιχεί στο δεύτερο χρώμα υπήρξε μεγαλύτερη αντοχή στους διαλύτες σε σχέση με το πρώτο χρώμα. Η δραστηριότητα της ακετόνης εν αντιθέσει με την δραστηριότητα της αιθανόλης είναι ορατή, ενώ σε πολλές περιπτώσεις δεν υπήρχε απομάκρυνση του μελανιού κατά την χρήση αιθανόλης. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως σε ένα από τα δοκίμια, ενώ το μελάνι απομακρύνθηκε από την περιοχή λόγω του διαλύτη, παρέμεινε ποσότητα μελανιού στην επιφάνεια τα οποία είναι ορατά με γυμνό μάτι.

#### **4.4. Έλεγχος δοκιμίων με οπτική μικροσκοπία**

Στη συνέχεια, ακολούθησε η παρατήρηση των εκτυπωμένων δοκιμίων με το μικροσκόπιο Digital Microscope A8 400/1000x. Η διαδικασία αυτή αποτελεί σημαντικό στοιχείο της έρευνας, διότι το μικροσκόπιο λόγω της μεγάλης μεγέθυνσης της εξεταζόμενης επιφάνειας επιτρέπει την εμπειριστατωμένη μελέτη σε συγκεκριμένες περιοχές των δοκιμίων. Πιο συγκεκριμένα, μπορούν να μελετηθούν περιοχές της επιφάνειας όπου πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμασίες, οπότε να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για την πρόσφυση του μελανιού και την απόδοση του στο υπόστρωμα. Παρακάτω θα αναλυθούν τα αποτελέσματα από την παρατήρηση στο μικροσκόπιο, τα οποία προέκυψαν ύστερα από προσεκτική μελέτη σε διαφορετικές περιοχές του ίδιου υποστρώματος, αλλά και σε διαφορετικά δοκίμια των οποίων ποικίλουν οι συνθήκες προετοιμασίας (ανοδίωσης) και το πάχος του ανοδικού οξειδίου.

## Μικροσκοπική παρατήρηση δοκιμίων που εκτυπώθηκαν με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας



Εικόνα 45. Μικροφωτογραφίες από επιλεγμένες περιοχές του Δοκιμίου LUA\*\* που εκτυπώθηκε με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας: α) Επιφάνεια του Οξειδίου πριν την εκτύπωση, β) Εκτυπωμένη περιοχή μετά την δοκιμασία με διαλύτες, γ) Εκτυπωμένη περιοχή που συνδυάζει μέρος του θέματος πριν και μετά τη δοκιμασία με διαλύτες, δ, ε, στ) Λεπτομέρειες από εκτυπωμένη περιοχή που δεν έχει υποστεί δοκιμασία σε διαλύτες.

### Δοκίμιο LU\*

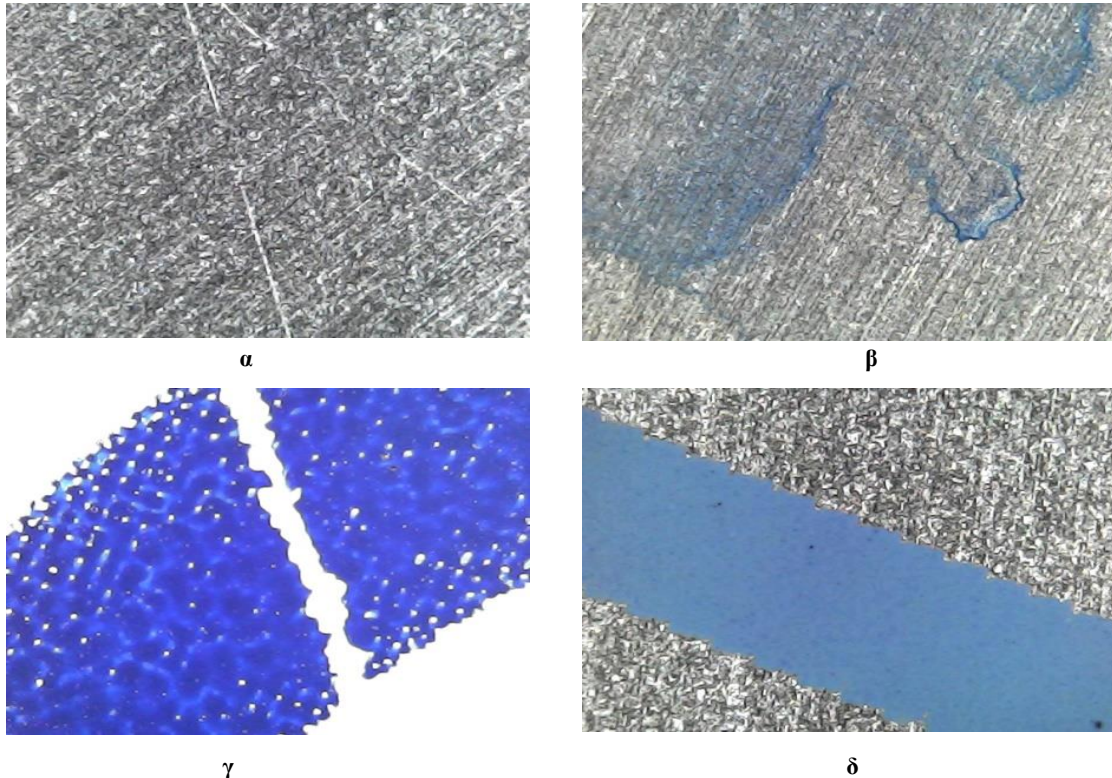
Α) Σε αυτή την περίπτωση το πάχος του οξειδίου είναι αρκετά μεγάλο (27-31  $\mu\text{m}$ ), και στο μικροσκόπιο η περιοχή εμφανίζεται πιο λεία και ομοιόμορφη σε σχέση με άλλα δοκίμια μικρότερου πάχους οξειδίου. Αξίζει να σημειωθεί πως ένα ικανοποιητικό πάχος οξειδίου είναι περίπου 15-20  $\mu\text{m}$ .

Β) Το δοκίμιο έχει υποστεί δοκιμασίες με διαλύτες, συγκεκριμένα με ακετόνη, ωστόσο είναι εμφανές πως έχουν μείνει υπολείμματα μελανιού που έχουν εισχωρήσει στους πόρους της επιφάνειάς του.

Γ) Όπως και στο προηγούμενο δοκίμιο έτσι και σε αυτό παρατηρούνται υπολείμματα μελανιού στην περιοχή που έχει υποστεί τη δοκιμασία με διαλύτη. Συμπερασματικά, η Πρώτη Οικογένεια Μελανιών (Εποξικά Μελάνια), ενώ δεν έχει μεγάλη αντοχή στους διαλύτες, δεν αφαιρείται τελείως από το υπόστρωμα, πιθανά λόγω της καλύτερης διείσδυσης στους πόρους του ανοδικού οξειδίου. Ενδέχεται, η χρήση τους σε δοκίμια με το επιθυμητό πάχος οξειδίου να δίνει καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την αντοχή στους διαλύτες.

Δ και Ε) Στο δοκίμιο δ παρατηρείται κάποιο κενό στην εκτυπωμένη περιοχή, το οποίο ωστόσο δεν έχει προέλθει από κάποια χάραξη του υποστρώματος αλλά πιθανόν να δημιουργήθηκε κατά την διαδικασία της Μεταξοτυπίας από κάποια πιθανή αστοχία.

ΣΤ) Στο συγκεκριμένο δοκίμιο παρατηρείται κάποιο σημάδι στην εκτυπωμένη επιφάνεια λόγω ελαττώματος, το οποίο πιθανά να προϋπήρχε στην επιφάνεια του αλουμινίου πριν την διαδικασία της ανοδίωσης. Επιβεβαιώνεται ότι είναι πολύ σημαντικό να ελέγχεται η επιφάνεια πριν την ανοδίωση και την εκτύπωση, καθώς τέτοιου είδους προβλήματα μεταφέρονται μέχρι το τελικό στάδιο και εμποδίζουν την ομαλή εξέλιξη της εκτυπωτικής διαδικασίας.



Εικόνα 46. Μικροφωτογραφίες από επιλεγμένες περιοχές του Δοκιμίου LUB\* που εκτυπώθηκε με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας: α) Εικόνα της επιφάνειας του ανοδικού οξειδίου πριν την εκτύπωση, β) Εκτυπωμένη περιοχή μετά την δοκιμασία με διαλύτες, γ) Εκτυπωμένη περιοχή μετά την δοκιμασία ελέγχου της πρόσφυσης, δ) Εκτυπωμένη περιοχή που δεν έχει υποστεί δοκιμασίες.

### Δοκίμιο LU\*

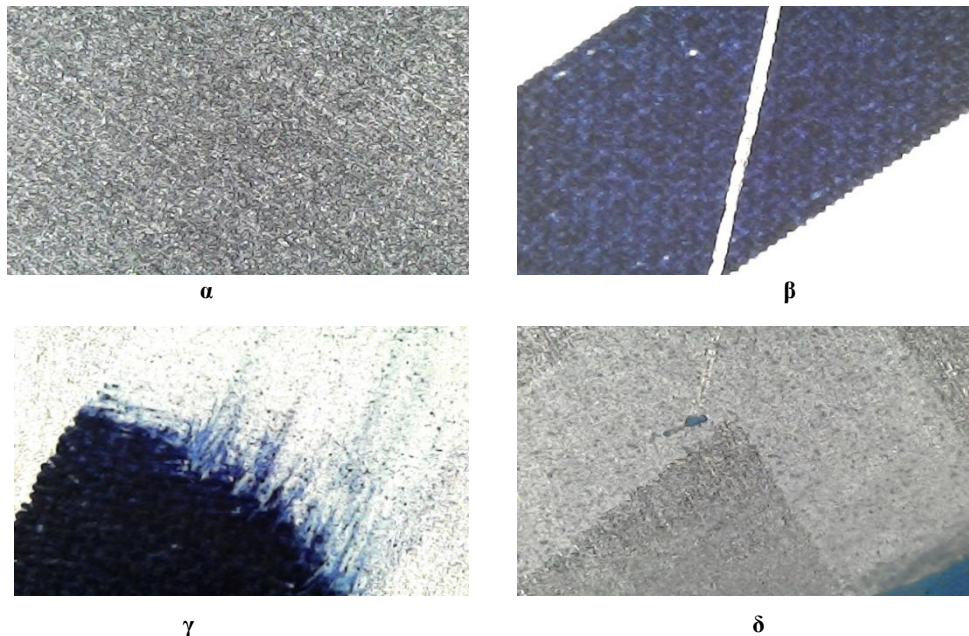
Α) Επιφάνεια ανοδικού οξειδίου, πριν την εκτύπωση: Το πάχος οξειδίου είναι 8-12  $\mu\text{m}$ , και στο μικροσκόπιο παρατηρείται χάραξη της επιφάνειας η οποία έχει σχηματιστεί πιθανά πριν την ανοδίωση του δοκιμίου.

Β) Εκτυπωμένη περιοχή μετά την δοκιμασία με διαλύτες: Ο διαλύτης που χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή αυτή είναι η ακετόνη, και όπως παρατηρείται έχει αφαιρεθεί όλη η εκτύπωση από το υπόστρωμα. Επομένως, το πάχος του οξειδίου (8-12  $\mu\text{m}$ ) σε συνδυασμό με την Δεύτερη Οικογένεια Μελανιών (Serilon) που χρησιμοποιήθηκαν δεν παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στους διαλύτες, και ιδιαίτερα στην ακετόνη.

Γ) Στην εικόνα αυτή μπορούν να γίνουν δυο παρατηρήσεις: αρχικά είναι ορατές οι οπές της γάζας που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκτύπωση, ενώ επιπλέον κατά την εφαρμογή δοκιμασίας χάραξης και αποκόλλησης στην εκτυπωμένη περιοχή φαίνεται ότι το μελάνι έχει αφαιρεθεί μόνο στο σημείο χάραξης, χωρίς να επηρεαστούν σημαντικά οι γύρω περιοχές, οι

οποίες έμειναν άθικτες, φαινόμενο που παρουσιάζεται και στα επόμενα δοκίμια και δείχνει πολύ καλή συμπεριφορά και θετική ανταπόκριση των εκτυπωμένων δοκιμίων στις συγκεκριμένες δοκιμασίες.

Δ) Δεν παρατηρούνται κενά στο εκτυπωτικό αποτέλεσμα, όπως παρατηρήθηκε στο Δοκίμιο LUA\*, γεγονός που επιβεβαιώνει ένα ομοιόμορφο και ολοκληρωμένο τελικό προϊόν.



Εικόνα 47. Μικροφωτογραφίες από επιλεγμένες περιοχές του δοκιμίου LUG\* που εκτυπώθηκε με τη μέθοδο της Μεταξοτυπίας: α) Μη εκτυπωμένη περιοχή του ανοδικού οξειδίου, β) Εκτυπωμένη περιοχή μετά τη δοκιμασία της χάραξης, γ) Εκτυπωμένη περιοχή μετά τη δοκιμασία αντοχής σε διαλύτες (X1), δ) Εκτυπωμένη περιοχή μετά τη γή δοκιμασία αντοχής σε διαλύτες (X2).

### Δοκίμιο LU\*\*

Στην Εικόνα 47 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εξέταση του Δοκιμίου LUG\*\*. Αξίζει να σημειωθεί πως ενώ εκ πρώτης όψεως τα αποτελέσματα των διαφορετικών δοκιμίων παρουσιάζουν κάποιες ομοιότητες, μια πιο προσεκτική παρατήρηση μπορεί να οδηγήσει σε πιο λεπτομερή συμπεράσματα που μπορούν να αποδοθούν στα διαφορετικά χαρακτηριστικά του υποστρώματος αλλά και των υλικών εκτύπωσης των δοκιμίων αυτών (πάχος οξειδίου, οικογένεια μελανιών).

Πιο αναλυτικά:

A) Παρατηρείται μια οπτικά λεία επιφάνεια του υποστρώματος, όπως παρατηρήθηκε και στο Δοκίμιο LUA\*, με το δοκίμιο να διαθέτει μεγάλο πάχος οξειδίου (20-26 μm).

B) Η περιοχή στην οποία έγινε η δοκιμασία χάραξης και αποκόλλησης παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα σε συγκριτικά με το Δοκίμιο LUB\*. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει καθώς η γραμμή χάραξης δεν φαίνεται να έχει επηρεάσει τις γειτονικές περιοχές κατά την αποκόλληση.

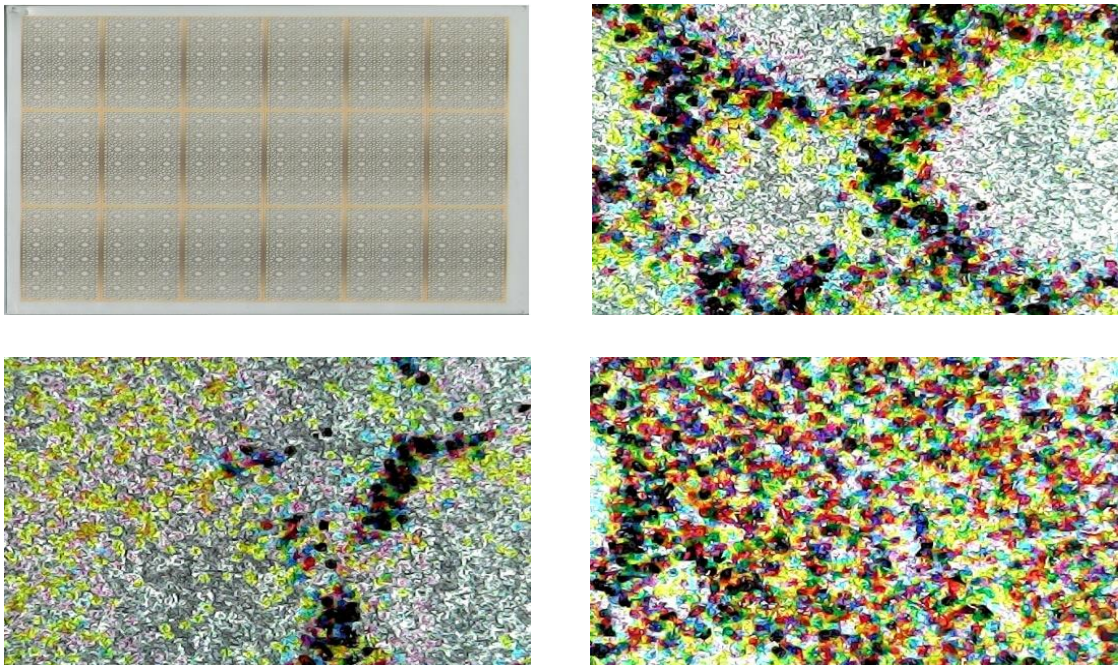
Γ και Δ) Κατά την δοκιμασία με διαλύτη παρατηρούνται υπολείμματα μελανιού στην περιοχή του πρώτου χρώματος (γ, X1) ενώ στην περιοχή του δεύτερου χρώματος (δ, X2) παρόλο που έχει αφαιρεθεί όλο το μελάνι, διατηρείται κάποιο υπόλειμμα με τη μορφή σκιάς σε όλη την εκτυπωμένη περιοχή, γεγονός που πιθανά να οφείλεται στην κατηγορία μελανιών που χρησιμοποιήθηκε (που ενδεχομένως πέτυχε καλύτερη διείσδυση στο βάθος των πόρων του οξειδίου).

Στις επόμενες ενότητες θα πραγματοποιηθεί μικροσκοπικός έλεγχος αλλά και σύγκριση των αποτελεσμάτων των εκτυπωμένων δοκιμίων με τις δύο ψηφιακές εκτυπωτικές μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη αυτή.

#### **Μικροσκοπική παρατήρηση δοκιμίων που εκτυπώθηκαν ψηφιακά (Vutek QS3200)**

Η παρατήρηση των δοκιμίων ψηφιακής εκτύπωσης με την χρήση του μικροσκοπίου πέρα από τη μελέτη ορισμένων περιοχών στις οποίες πραγματοποιήθηκαν δοκιμασίες, βοηθά και στην μελέτη του εκτυπωτικού αποτελέσματος.

Συγκεκριμένα, η παρατήρηση της ψηφιακής εκτύπωσης έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς η εναπόθεση του μελανιού στο εκτυπωτικό υπόστρωμα γίνεται μέσω ψεκασμού. Σε μια τέτοια περίπτωση, παρά το γεγονός της οριοθέτησης των περιοχών στις οποίες θα γίνει ο ψεκασμός του μελανιού, υπάρχει η πιθανότητα αστοχιών, οι οποίες ωστόσο τις περισσότερες φορές δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι.



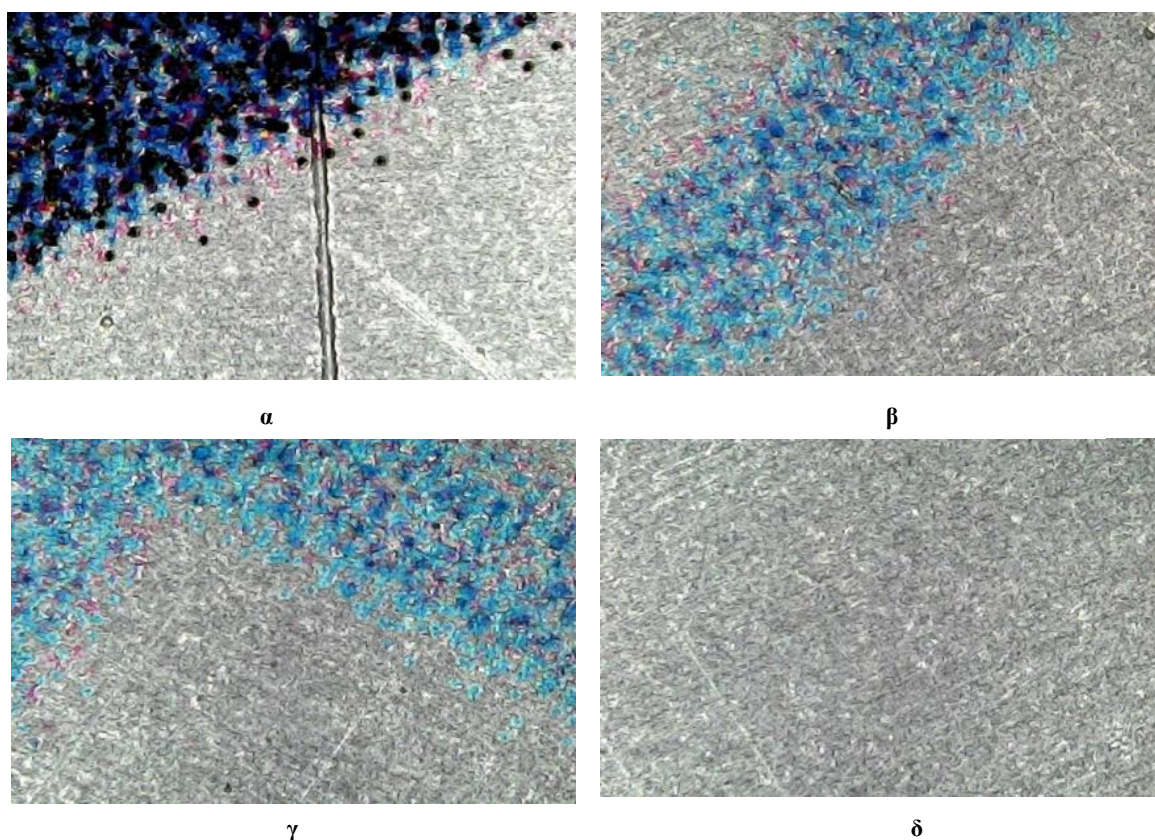
**Εικόνα 48. Μικροφωτογραφίες από επιλεγμένες περιοχές του δοκιμίου G\*\*.**

### Δοκίμιο G (17-22 μm)

Το εκτυπωμένο θέμα λόγω χρώματος και σχεδίου αποτελεί ένα από τα πιο δύσκολα θέματα που επιλέχθηκαν προς εκτύπωση. Παρατηρούνται κενά στο εκτυπωτικό αποτέλεσμα και πιθανόν να είναι μια από τις αιτίες, που σε συνδυασμό με το θέμα, μπορεί να προκάλεσαν μεγαλύτερη ευαισθησία του τελικού προϊόντος. Η χρήση ενός θέματος που περιλαμβάνει την απομίμηση χρυσού χωρίς να είναι διάτρητο ενδέχεται να παρουσίαζε καλύτερα αποτελέσματα αντοχής σε ανάλογες δοκιμασίες.

### Δοκίμιο LU (20-23 μm)

Στην *Εικόνα 49* παρουσιάζονται μικροφωτογραφίες από περιοχές του δοκιμίου LU (20-23 μm).



**Εικόνα 49. Μικροφωτογραφίες από επιλεγμένες περιοχές του δοκιμίου LU (20-23 μm): α) χάραξη σε εκτυπωμένη περιοχή δοκιμίου, β,γ) αποτύπωση του X2 στην περιοχή της ψηφιακής εκτύπωσης, δ) μη εκτυπωμένη επιφάνεια δοκιμίου.**

Αναλυτικά:

Α) Στην επιλεγμένη περιοχή παρατηρείται χάραξη του δοκιμίου η οποία έχει δημιουργηθεί πριν την εκτύπωση του δοκιμίου. Σε άλλες περιπτώσεις δοκιμίων (*Δοκίμιο LUA\**) δεν ήταν εφικτή η προσκόλληση του μελανιού σε περιοχές με ανάλογες ατέλειες (χάραξη κλπ), ενώ σε αυτή την περίπτωση η χαραγμένη περιοχή εκτυπώθηκε κανονικά. Επιπλέον κατά τον ψεκασμό του μελανιού φαίνεται ότι ορισμένες σταγόνες εκτοξεύτηκαν και εκτός ορίων της επιλεγμένης περιοχής του θέματος.

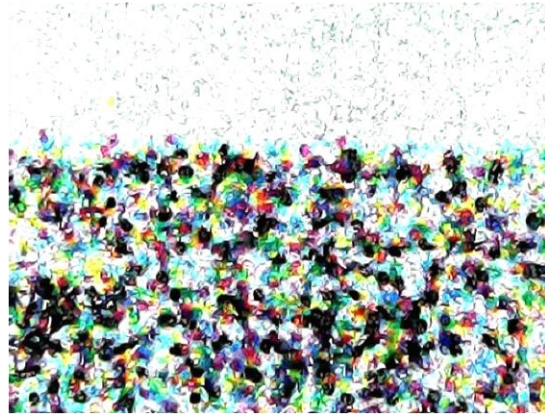
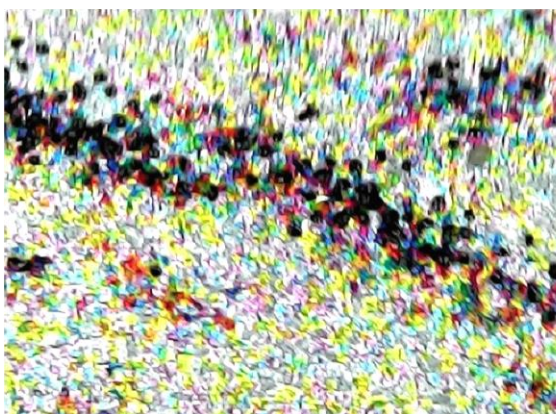
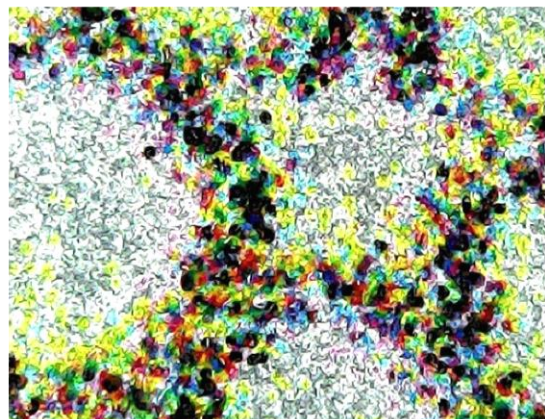
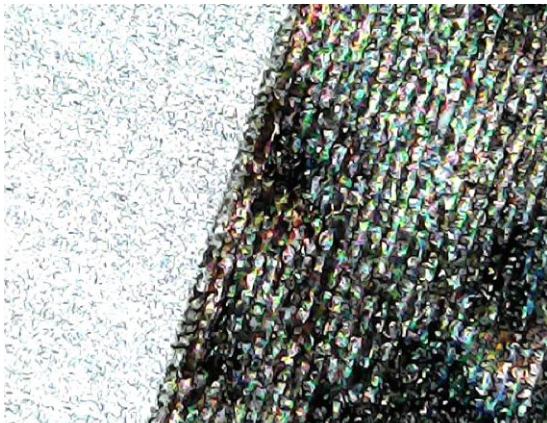
Β και Γ) Στο δεύτερο χρώμα (X2) το φαινόμενο του ψεκασμού εκτός ορίων δεν είναι ορατό σε μεγάλο βαθμό, ωστόσο υπάρχουν ορισμένα κενά στην εκτύπωση.

Δ) Παρατηρείται κατά τον οπτικό έλεγχο ότι η επιφάνεια του δοκιμίου είναι αρκετά ομαλή), όπως αναμένεται στις συγκεκριμένες συνθήκες ανοδικής οξείδωσης.

Παρόμοια μελέτη πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια, και στην ψηφιακή εκτύπωση με την εκτυπωτική μηχανή Verve Mini by Colojet, ώστε να είναι δυνατή μια συνολική σύγκριση και εκτίμηση των δοκιμίων που τυπώθηκαν με τους δυο τύπους μηχανών (χάραξη, διαλύτες και μικροσκόπιο).

#### Μικροσκοπική παρατήρηση δοκιμίων που εκτυπώθηκαν ψηφιακά (Verve Mini by Colojet)

Η παρατήρηση των δοκιμίων, που τυπώθηκαν στην συγκεκριμένη εκτυπωτική μηχανή, επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα που έδειξαν οι δοκιμασίες, δηλαδή τη μειωμένη αντοχή στους διαλύτες και την αντοχή στη χάραξη των δοκιμίων. Ωστόσο, όπως θα φανεί και στη συνέχεια, υπάρχει μεγαλύτερη ομοιομορφία του εκτυπωτικού αποτελέσματος.



Εικόνα 50. Μικροφωτογραφίες από επιλεγμένες περιοχές διαφορετικών δοκιμίων που τυπώθηκαν με την ψηφιακή εκτυπωτική μηχανή Verve Mini by Colojet.



Τα δοκίμια που παρουσιάζονται φέρουν διαφορετικά εκτυπωμένα θέματα, ωστόσο διαθέτουν το καλύτερο εκτυπωτικό αποτέλεσμα που είναι ορατό ακόμη και με γυμνό μάτι. Επιπλέον, ακόμη και η αποτύπωση του θέματος G και των αντίστοιχων θεμάτων C1, C2 παρουσίασε μεγαλύτερη ακρίβεια συγκριτικά με τα αποτελέσματα από την μηχανή εκτύπωσης Vutek QS3200.

#### 4.5. Σφράγισμα (Sealing): Υδροθερμική κατεργασία εκτυπωμένων δοκιμίων και έλεγχος σε συνθήκες διαβρωτικού περιβάλλοντος (ατμόσφαιρας- έλεγχος δοκιμασίας αλατονέφωσης)

Τα δοκίμια, όπως έχει αναφερθεί, προορίζονται για χρήση σε συνθήκες εσωτερικών αλλά και εξωτερικών χώρων. Για το λόγο αυτό είναι σημαντική η εφαρμογή δοκιμασιών σε συνθήκες προσομοίωσης αυτών που σχετίζονται με τους εξωτερικούς παράγοντες διάβρωσης του μετάλλου, όπως το βρόχινο νερό, το οξυγόνο που περιέχεται στον αέρα και τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, ακόμα και το θαλάσσιο περιβάλλον (αλατονέφωση).

Η εργαστηριακή δοκιμή που πραγματοποιήθηκε είναι η Neutral Salt Spray (NSS), που αποτελεί μια επιταχυνόμενη δοκιμασία διάβρωσης σε περιβάλλον αλατονέφωσης. Η δοκιμή αυτή εκθέτει δοκίμια από μεταλλικά και μη υλικά σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ώστε να εκτιμηθεί η αντοχή του υλικού στην διάβρωση και ταυτόχρονα για τον προσδιορισμό της ικανότητας των χρωμάτων βαμμένων ή εκτυπωμένων επιφανειών να διατηρηθούν στις ιδιαίτερα απαιτητικές αυτές συνθήκες.

Η δοκιμασία της εργαστηριακής διάβρωσης πραγματοποιείται με βάση την τυποποιημένη δοκιμή ASTM B117, για διάστημα 24 έως και 1.000 ωρών ψεκασμού ουδέτερου άλατος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπήρξαν δύο χρονικά διαστήματα εφαρμογής της δοκιμασίας, για 100 ώρες και 204 ώρες αντίστοιχα, ενώ ως διαβρωτικό μέσο χρησιμοποιήθηκε το διάλυμα του NaCl (Χλωριούχο Νάτριο).

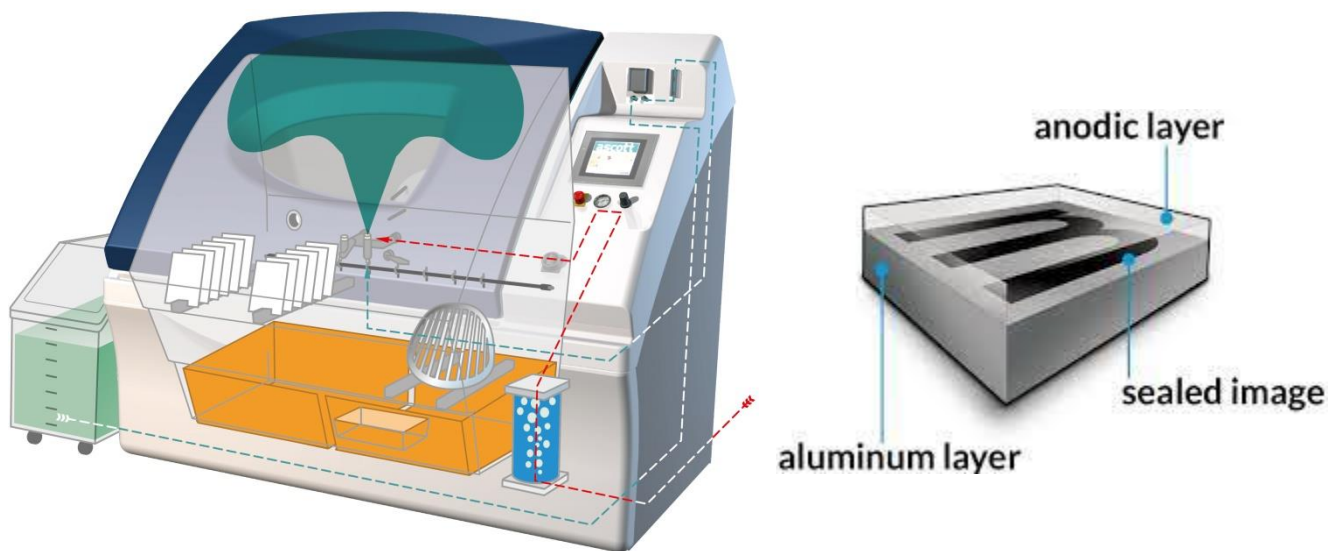


Εικόνα 51. Εκτυπωμένα δοκίμια στα οποία πραγματοποιήθηκε η δοκιμασία της αλατονέφωσης.

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν κατά την δοκιμασία ανήκουν στην κατηγορία δοκιμίων με εκτυπωμένο θέμα απομίμησης ξύλου (W1), (W2) και χρυσού (G), καθώς τα συγκεκριμένα δοκίμια εμφάνισαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον όσον αφορά τα αποτελέσματα κατά τις δοκιμασίες

αντοχής που προηγήθηκαν. Ο ψεκάσμος με το επιλεγμένο διάλυμα πραγματοποιείται μέσα σε σφραγισμένο θάλαμο ώστε να δημιουργηθεί ομίχλη αλμυρού νερού επιταχύνοντας με τον τρόπο αυτό την διάβρωση των δοκιμίων. Επειδή στόχος ήταν η μελέτη της συμπεριφοράς των εκτυπωμένων δοκιμίων κάτω από πολλές και διαφορετικές συνθήκες, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί σε δύο από αυτά τα δοκίμια υδροθερμική κατεργασία ή κοινώς «σφράγισμα» (sealing) της επιφάνειας πριν την έκθεση στη δοκιμασία αλατονέφωσης, ώστε να παρατηρηθεί εάν υπάρχει διαφορά ανάμεσα στα ανοδιωμένα δοκίμια μετά και πριν το σφράγισμα.

Κατά την διαδικασία του σφραγίσματος (sealing) της ανοδιωμένης επιφάνειας, που πραγματοποιείται σε νερό που βράζει και για χρόνο αντίστοιχο με την διάρκεια της ανοδίωσης, επιτυγχάνεται καλύτερη αντοχή ως προς τη διάβρωση του ανοδικού οξειδίου αλλά και καλύτερη συμπεριφορά των χρωμάτων μιας βαμμένης ή εκτυπωμένης επιφάνειας αυτού, καθώς το χρώμα «εγκλωβίζεται» στους πόρους του οξειδίου και προστατεύεται. Η ποιότητα του σφραγίσματος μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες, όπως ο χρόνος βύθισης, η συγκέντρωση των συστατικών του διαλύματος, η θερμοκρασία, το pH, η ποιότητα νερού, το πάχος επίστρωσης κλπ. Σύμφωνα με το πρότυπο στο οποίο στηρίχθηκε η διαδικασία της δοκιμής αλατονέφωσης τα αποτελέσματα ήταν πολύ ικανοποιητικά. Επιπλέον, δεν υπήρξε διαφοροποίηση μεταξύ του δοκιμίου με και χωρίς σφράγισμα, ενώ σε όλα τα δοκίμια παρατηρήθηκε επιφανειακή απόθεση άλατος κατά τον έλεγχο του αποτελέσματος της δοκιμασίας.



Εικόνα 52. Παράδειγμα μηχανήματος αλατονέφωσης και επιφάνειας με σφράγισμα (sealing).

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## Διεύρυνση του ερευνητικού θέματος και Προβολή της εργασίας στον Διεθνή Ακαδημαϊκό χώρο

Μετά την ολοκλήρωση της βασικής μελέτης διαπιστώθηκε πως η μέθοδος της μεταξοτυπίας παρουσιάζει αξιόλογα εκτυπωτικά αποτελέσματα όσον αφορά την ποιότητα εκτύπωσης αλλά και τις αντοχές των εκτυπωμένων δοκιμίων. Για το λόγο αυτό η έρευνα διευρύνθηκε περαιτέρω με στόχο την μελέτη τροποποίησης της σύνθεσης μελανιών, κατάλληλων για εφαρμογή στην εκτύπωση με τη μέθοδο της μεταξοτυπίας σε υπόστρωμα από ανοδικά οξειδωμένο αλουμίνιο. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ερευνητικού project με θέμα «Improvement of the surface structure of thin coatings on aluminium alloy by surface modification» σε συνεργασία με την Dr. S. Mahovic Polijacek, Assoc. Professor to Faculty of Graphic Arts, University of Zagreb, Croatia και την ερευνητική ομάδα της. Ακολουθεί η περίληψη της ερευνητικής εργασίας, που έγινε δεκτή κατόπιν κρίσεως από την Επιστημονική Επιτροπή του Συνεδρίου και θα παρουσιαστεί στο 52<sup>nd</sup> Conference of the IC: “Print Education – Challenges in an uncharted world” Athens, 20-24 September 2021:

### **The influence of certain characteristics of screen printing plates and inks on deposition of ink coatings on anodized aluminum substrates**

Sanja Mahović Poljaček<sup>1</sup>, Tamara Tomašegović<sup>1</sup>, Stamatina Theohari<sup>2</sup>, G. Komporozou<sup>2</sup>, M. Nikolaou<sup>2</sup> and S. Tsoukala<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Zagreb Faculty of Graphic Arts, Getaldiceva 2, 10000 Zagreb, Croatia  
[smahovic@grf.hr](mailto:smahovic@grf.hr) , [ttomaseg@grf.hr](mailto:ttomaseg@grf.hr)

<sup>2</sup> Graphic Design and Visual Communication, University of West Attica,  
Ag. Spyridonos 12243, Egaleo, Greece [stheochari@uniwa.gr](mailto:stheochari@uniwa.gr), [valiakomp@gmail.com](mailto:valiakomp@gmail.com),  
[maggy353@gmail.com](mailto:maggy353@gmail.com), [sots.tskl@gmail.com](mailto:sots.tskl@gmail.com)

### **ABSTRACT**

Screen printing is a printing technique widely used for variable applications (textile printing, special effects, printed electronics etc.) and it can be used for application of different technical coatings on various substrates. The quality of reproduced image depends on properties of used printing plates, properties of substrates and on the printing process. Among the various types of printing substrates for special or external applications, aluminium has gain a great interest due to its superior decorative, fashionable design appearance and unique properties. In the present study, the printability of aluminium with respect to printing conditions in screen printing technique was investigated. In particular, AA1050 alloy specimens were chemically pretreated and anodized, thereby affecting the surface morphology and properties of the printing substrate. Three types of printing plates with different meshes and printing inks of different compositions were used in printing process. Measurements of contact angles and calculations of surface free energy were performed for the analysis of the aluminium samples. The properties related with the thickness and

morphology of the printed coatings, as well as the optical density and CIELab values, the light fastness and adhesion of the prints were observed. The results showed that a) the aluminium alloy has similar amount of polar and dispersive components of the surface free energy with a slightly higher amount of dispersive component; b) different compositions of printing inks cause a slightly different adsorption of ink coatings on aluminium substrate and c) the usage of the printing plates with different meshes has a great influence on the thickness of the printed coatings. One can conclude that the improvement of the quality of the imprints, especially for outdoor and other demanding specific applications could be achieved by pretreatment of aluminium substrates under the applied conditions in relation to the selected composition of the printing inks and types of printing plates described in this study. The scientific outcomes that concern the influence of printing parameters combined with the morphology (thickness, porosity, etc.) of aluminum substrate on print quality and properties of imprints may be combined with further practical applications in the field of printing technology.

**Key-Words:** screen printing, printing plates, printing inks, aluminium substrate.

# ΕΠΙΛΟΓΟΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

## Επίλογος και Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για περαιτέρω έρευνα και εξέλιξη του θέματος σε ακαδημαϊκό και εμπορικό επίπεδο. Τόσο από το αρχικό στάδιο της εύρεσης πληροφοριών και μελέτης της σχετικής αρθρογραφίας και βιβλιογραφίας μέχρι την υλοποίηση της διαδικασίας ανοδίσωσης αναδείχτηκαν πολλά και ενδιαφέροντα ζητήματα τα οποία ήταν κρίσιμα για την ολοκλήρωση της. Σημειώνεται ότι η εκπόνηση της εργασίας ξεκίνησε πριν αλλά ολοκληρώθηκε κατά τη διάρκεια της πανδημίας, οπότε έπρεπε να αντιμετωπιστούν μια σειρά από σοβαρά προβλήματα (δυσκολία μετακινήσεων, συνεργασιών, χρονική καθυστέρηση λόγω αναβολών και διοικητικών μέτρων). Με εμπιστοσύνη στις δυνάμεις μας και επιμονή, έγινε προσπάθεια για συνεχή μελέτη και προσφορά ακόμα και σε αντίξοες συνθήκες, οπότε η ολοκλήρωση της εργασίας έγινε δυνατή και μας γέμισε με έντονα συναισθήματα χαράς και ικανοποίησης.

Καταρχάς είναι σημαντικό να αναφερθεί ο περιορισμένος αριθμός επιστημονικών εργασιών που αναφέρεται στο αντικείμενο της εργασίας, ενώ αντίθετα το εμπορικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον είναι μεγάλο, όπως αποδεικνύουν οι σχετικές ευρεσιτεχνίες και εμπορικά σήματα. Επομένως, η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και μελέτη σε ακαδημαϊκό επίπεδο αποδεικνύεται εξαιρετικής σημασίας.

Σε δεύτερο επίπεδο κι αφού ολοκληρώθηκε η μελέτη του σχετικού θεωρητικού υλικού, πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της ανοδικής οξειδωσης των δοκιμών αλουμινίου, η οποία εφαρμόστηκε σε δοκίμια μικρών και μεγάλων διαστάσεων (δηλαδή σε εργαστηριακή και βιομηχανική κλίμακα), σε διαφορετικά λουτρά και υπό διαφορετικές συνθήκες προκειμένου να εκτιμηθούν οι καλύτερες δυνατές συνθήκες για την υλοποίηση της εκτύπωσης. Η διαδικασία αυτή ήταν σημαντική, καθώς περιέλαβε το σχεδιασμό, την υλοποίηση και την καταγραφή ηλεκτροχημικών δεδομένων απαραίτητων για το ποιοτικό αποτέλεσμα του ανοδικού οξειδίου του αλουμινίου.

Ακολούθησε η επιλογή και υλοποίηση των εκτυπώσεων, που αποδείχτηκε ακόμα πιο σύνθετη και απαιτητική διαδικασία, καθώς επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί με δυο μεθόδους, τόσο με τη μέθοδο της μεταξοτυπίας όσο και την ψηφιακή μέθοδο και μάλιστα σε δυο διαφορετικές μηχανές. Ως θέματα επιλέχθηκαν λογότυπα αλλά και μοτίβα απομίμησης επιφανειών διαφόρων υλικών, που επίσης είχαν ιδιομορφίες και ήταν ιδιαίτερα απαιτητικά στην υλοποίησή τους.

Η αξιολόγηση των εκτυπωμένων δοκιμών πραγματοποιήθηκε με μια πλήρη σειρά από μετρήσεις που αφορούσαν καταρχάς τα χρωματικά χαρακτηριστικά των εκτυπωμένων δοκιμών και στη συνέχεια τον έλεγχο της πρόσφυσης των μελανιών στο υπόστρωμα, την αντοχή των μελανιών στη χάραξη, την τριβή, και τους διαλύτες. Έλεγχος πραγματοποιήθηκε και για την εκτίμηση των αντοχών των εκτυπωμένων δοκιμών στις υδροθερμικές κατεργασίες και στη διάβρωση. Τέλος, ο έλεγχος ολοκληρώθηκε με την παρατήρηση επιλεγμένων περιοχών των εκτυπωμένων δοκιμών με το μικροσκόπιο και την εξαγωγή των συμπερασμάτων.

Από τη μελέτη συμπεραίνεται ότι:

Οι συνθήκες που επιλέγονται για την ανοδική οξειδωση των δοκιμών είναι καθοριστικής σημασίας για την ποιότητα της εκτύπωσης στην επιφάνειά τους. Πράγματι, οι συνθήκες που εφαρμόστηκαν στην συγκεκριμένη εργασία, οδήγησαν στο σχηματισμό επιστρωμάτων με

κατάλληλη μορφολογία, ώστε να εξασφαλίσουν ποιοτική εκτύπωση γενικά με όλες τις μεθόδους και τους τύπους των μελανιών που χρησιμοποιήθηκαν. Η απόδοση των χρωμάτων ήταν ικανοποιητική κατά την εκτύπωση όλων των θεμάτων. Επίσης, προέκυψαν ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την πρόσφυση του μελανιού στην μεταλλική επιφάνεια, τις αντοχές στη χάραξη και την τριβή και τη δοκιμασία έναντι της διάβρωσης. Όλες οι παραπάνω εκτιμήσεις βασίστηκαν σε ποιοτικές και ποσοτικές μεθόδους και τεχνικές, που μπορούν να αποτελέσουν έναν χρήσιμο πρακτικό οδηγό για ανάλογες εκτυπωτικές εργασίες σε αντίστοιχα απαιτητικά υποστρώματα, όπως είναι το ανοδικά οξειδωμένο αλουμίνιο.

Πιο συγκεκριμένα:

- Με κριτήριο το θέμα της εκτύπωσης επιλέγεται και η μέθοδος για την υλοποίηση της εκτύπωσης: για τα δυο χρώματα, όπως στην περίπτωση των λογότυπων, η εκτύπωση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με μεταξοτυπία είτε με την ψηφιακή μέθοδο. Όταν υπάρχουν περισσότερα χρώματα, όπως στην περίπτωση της απομίμησης χρυσού, προτείνεται η ψηφιακή μέθοδος, που επίσης συστήνεται για πιο απαιτητικά θέματα με περισσότερες λεπτομέρειες, όπως διάτρητα μοτίβα.
- Ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι το επιλεγμένο θέμα (μεγάλη επιφάνεια ή διάτρητο μοτίβο, με λεπτομέρειες ή όχι). Αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι σε ορισμένες περιπτώσεις το ίδιο θέμα ανταποκρίθηκε διαφορετικά στις δοκιμασίες όταν ήταν τυπωμένο σε μορφή λωρίδας και διαφορετικά όταν κάλυπτε μεγάλη επιφάνεια του υποστρώματος. Στην πράξη, στα δοκίμια που τυπώθηκαν διάτρητα θέματα παρατηρείται μικρότερη αντοχή σε διαλύτες και χάραξη.
- Όταν υπάρχει η δυνατότητα επιλογής κατηγορίας μελανιών, όπως έγινε στην περίπτωση της μεταξοτυπίας, είναι απαραίτητο να γίνονται δοκιμές τόσο για την καλή εκτυπωσιμότητα όσο και για την αντοχή της εκτυπωμένης περιοχής σε μηχανικούς και χημικούς παράγοντες. Επίσης, ιδιότητες των μελανιών, όπως η χημική σύσταση, αλλά και η ρευστότητα παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα της εκτύπωσης, καθώς πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υποστρώματος (στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν μεταλλικό, πορώδες, με μικρή διάμετρο πόρων κτλ).
- Συχνά απαιτείται η παρασκευή των μελανιών εφόσον δεν διατίθενται οι αντίστοιχες αποχρώσεις στο εμπόριο ή σε μια συγκεκριμένη επιχείρηση. Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να υπάρχει καλή γνώση του χρωματικού χάρτη αλλά και της διαχείρισης των υλικών, όπως συνέβη στην περίπτωση των μελανιών της μεταξοτυπίας για την απόδοση των κωδικών του λογότυπου του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.
- Κατά την εκτύπωση με την ψηφιακή τεχνολογία, είναι σημαντική η επιλογή της μηχανής με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά, ώστε να υπάρχει αφενός μεγάλη ταχύτητα στην παραγωγή και αφετέρου, μεγάλη ακρίβεια στην απόδοση των χρωμάτων, όπως διαπιστώθηκε στην περίπτωση των εκτυπώσεων των δοκιμίων της πτυχιακής εργασίας. Φυσικά, η επιλογή εξαρτάται και από την απαίτηση του τελικού χρήστη - συνεργάτη, και αφορά το προς εκτύπωση θέμα, τον τελικό προορισμό και χρήση, την ποσότητα - αριθμό των αντιτύπων κτλ.



## Βιβλιογραφικές Πηγές

- ❖ Alfipa, Aluminium & Blisterfoil for Pharmaceutical Industry. Διαθέσιμο από: <https://alfipa.com/applications/aluminium-foil-pharmaceutical-industry/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ All About Aluminium, Aluminium applications – Packaging. Διαθέσιμο από: <https://www.aluminiumleader.com/application/packaging/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Aluminum Anodizers Council Anodized Aluminum Applications. Διαθέσιμο από: <https://www.anodizing.org/page/anodized-aluminum-applications> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Aluminum Anodizers Council, Aluminum Anodizing Process - A Historical Perspective. Διαθέσιμο από: <https://www.anodizing.org/page/anodizing-historical-perspective> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Aluminum Anodizers Council, What Are the Benefits of Anodizing Aluminum? Διαθέσιμο από: <https://www.anodizing.org/page/anodizing-benefits> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Bauxite: The Principal Ore of Aluminum. Διαθέσιμο από: <https://geology.com/minerals/bauxite.shtml> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Beca, 2020. What Is Sublimation Printing? The Pros & Cons of Dye Sublimation, Contrado Blog. Διαθέσιμο από: <https://www.contrado.co.uk/blog/what-is-sublimation-printing/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Canada, Health, The Safe Use of Cookware, 2012. Διαθέσιμο από: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/household-products/safe-use-cookware.html> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Colorjet, VERVE mini True Fullbed Led UV Printer. Διαθέσιμο από: <https://www.colorjetgroup.com/personalized-gifting-printing-machine> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Elval Hellenic Aluminum Industry, Ιστορία του Αλουμινίου. Διαθέσιμο από: <https://www.elval.com/el/about-aluminium-why-aluminium> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Encyclopedia Britannica, Anodizing | Metallurgy. Διαθέσιμο από: <https://www.britannica.com/technology/anodizing> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Encyclopedia Britannica, Colour - The Visible Spectrum. Διαθέσιμο από: <https://www.britannica.com/science/color> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Engler Italia, Inks and Chemical Specialties, Serilon. Διαθέσιμο από: <http://www.engleritalia.it/doc3/6%20serilon.pdf> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ FESPA Staff, 2008. Do you know your water based inks from your UV inks?. Διαθέσιμο από: <https://www.fespa.com/en/news-media/industry/do-you-know-your-water-based-inks-from-your-uv-inks> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ FESPA, Staff, 2014. What you need to know about digital inks. Διαθέσιμο από: <https://www.fespa.com/en/news-media/features/what-you-need-to-know-about-digital-inks> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)

- ❖ Graphica News, Η Ιστορία της Τυπογραφίας. Διαθέσιμο από: <https://www.graphicanews.gr/articles.php?article=12&page=2> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ HD Aluminum Prints, How Aluminum Prints Are Made. Διαθέσιμο από: [https://www.hdaluminumprints.com/blog/blog\\_posts/how-aluminum-prints-are-made](https://www.hdaluminumprints.com/blog/blog_posts/how-aluminum-prints-are-made) (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Healthy Printing, UV Printing. Διαθέσιμο από: <https://www.healthyprinting.eu/uv-printing/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Hydro, Buses. Διαθέσιμο από: <https://www.hydro.com/en-US/aluminum/industries/transportation/buses/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Impact Digital, What Exactly Is Digital Printing?, 2018. Διαθέσιμο από: <https://impactdigital.com.au/what-digital-printing/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Inktech GLV Series Gloss Vinyl Ink. Διαθέσιμο από: <https://www.davisint.com/p-966-inktech-glv-series-gloss-vinyl-ink.aspx> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ JJ Bender, VUTEk QS3200. Διαθέσιμο από: <https://www.jjbender.com/product/vutek-qs3200/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Jones, Andrew Zimmerman, 2020. What Is the Visible Light Spectrum? Διαθέσιμο από: <https://www.thoughtco.com/the-visible-light-spectrum-2699036> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Katsaounis Bros Printing Companh, Εκτύπωση Flexo. Διαθέσιμο από: <https://www.katsaounisbros.gr/el/33-menu-blocks-big/71-flexo-printing> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Leahey Bob, 2012 Tonejet Today: An Update. Διαθέσιμο από: [https://www.tonejet.com/media/pages/news/info-trends-report-2012/3293961547-1594907229/tonejet\\_update\\_infotrends\\_jan2012.pdf](https://www.tonejet.com/media/pages/news/info-trends-report-2012/3293961547-1594907229/tonejet_update_infotrends_jan2012.pdf) (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Martin Matt, Epoxy Ink: A Guide. Διαθέσιμο από: <https://www.durable-tech.com/blog/bid/95129/epoxy-ink> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Michael Skillingberg, Aluminum at sea: Speed, endurance and affordability, 2009. Διαθέσιμο από: [https://www.aluminum.org/sites/default/files/Aluminum\\_at\\_Sea.pdf](https://www.aluminum.org/sites/default/files/Aluminum_at_Sea.pdf) (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Nazdar, GV Gloss Vinyl Screen Ink - Standard Colors. Διαθέσιμο από: <https://sourceone.nazdar.com/P/3558/GV-Gloss-Vinyl-Screen-Ink---Standard-Colors> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Offset Printing Technology, 2011. Offset Lithography, Offset Printing Plates. Διαθέσιμο από: <https://www.offsetprintingtechnology.com/sub-categories/offset-printing-plates/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Packaging Europe, The Drivers Behind Direct to Can Printing Expansion, 2018. Διαθέσιμο από: <https://packagingeurope.com/api/content/6e342a96-e19e-11e8-86e2-120e7ad5cf50/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Pyane Alice, 2019. What Is Sublimation Printing? The Ultimate Guide (2020. Διαθέσιμο από: <https://www.vispronet.com/blog/sublimation-printing/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Reusable cylinders, <https://www.icr-ioannou.com/products/reusable-cylinders/>

- ❖ Sheffield Hallam University, Neutral Salt Spray Testing (ASTM B117). Διαθέσιμο από: <https://www.shu.ac.uk/research/specialisms/materials-and-engineering-research-institute/facilities/neutral-salt-spray-testing> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Sublimation Process - Carolina Sublimation. Διαθέσιμο από: <https://www.carolinasub.com/process> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ The Aluminum Association, Aluminum Construction and Building. Διαθέσιμο από: <https://www.aluminum.org/product-markets/building-construction> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ The Aluminum Association, Electrical. Διαθέσιμο από: <https://www.aluminum.org/product-markets/electrical> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ The Aluminum Association, Electronics & Appliances. Διαθέσιμο από: <https://www.aluminum.org/product-markets/electronics-appliances> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ The Aluminum Association, Primary Production. Διαθέσιμο από: <https://www.aluminum.org/industries/production/primary-production> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Theohari, Stamatina, et al. “Printing on Anodized Aluminium Surface.” *Open Journal of Applied Sciences*, vol. 6, no. 11, Oct. 2016, pp. 783–95. Διαθέσιμο από: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=71444> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- ❖ Tiflex, Glossy Vinyl : Solvent Inks for Silk Screen, 9 Aug. 2017, Διαθέσιμο από: <https://www.tiflex.com/en/silk-screen/screen-printing-inks-for-industrial-and-graphic-applications/solvent-inks-2/glossy-vinyl/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ UK Essays. 2018. The History of Aluminum. Διαθέσιμο από: <https://www.ukessays.com/essays/chemistry/history-aluminum-4387.php?vref=1> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Vargel Christian, 2004. Atmospheric Corrosion - an Overview. Διαθέσιμο από: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/atmospheric-corrosion> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Welder. Gr. 2018. Τι είναι η Ανόπτηση. Διαθέσιμο από: <https://welder.gr/%CF%84%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CE%B7-%CE%B1%CE%BD%CF%8C%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Wikipedia, Tonejet 2019. Διαθέσιμο από: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Tonejet&oldid=884470661> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Wikipedia, Τυπογραφία, 2021. Διαθέσιμο από: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ X-Rite, What Is a Spectrophotometer? | Color Spectro Definition. Διαθέσιμο από : <https://www.xrite.com/learning-color-education/other-resources/what-is-a-spectrophotometer> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)

- ❖ Yogurt and Dairy - Flexible Aluminium Market, Italcot Srl -Surface Treatment and Lacquering of Aluminium Coils. Διαθέσιμο από: <https://www.italcoat.com/flexible-aluminium-markets/yogurt-and-dairy/> (Τελευταία Επίσκεψη: 25/6/2021)
- ❖ Αλεξανδρή, 2018. Ψηφιακές Εκτυπώσεις, Ψηφιακή Εκτύπωση VS Offset. Διαθέσιμο από: <https://alexandris-copycenter.gr/psifiaki-ektyposi-vs-offset/> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Βαλαβανίδης Αθανάσιος, Ευσταθίου Κωνσταντίνος, 2014. Η χημική ένωση του μήνα. Διαθέσιμο από: [http://195.134.76.37/chemicals/chem\\_Al2O3.htm](http://195.134.76.37/chemicals/chem_Al2O3.htm) (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Ελληνική Ένωση Αλουμινίου, Αλουμίνιο. Διαθέσιμο από: <http://www.aluminium.org.gr/%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%85%CE%BC%CE%AF%CE%BD%CE%B9%CE%BF-i-129.html> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Θεοχάρη Σταματίνα, 1997. Χρήση οργανικών χρωστικών για το χρωματισμό του ανοδιωμένου αλουμινίου με ηλεκτρολυτικές μεθόδους, Διδακτορική Διατριβή, Ε.Κ.Π.Α.
- ❖ Μπιτζένης Δημήτριος, Ο Γουτεμβέργιος και η Τυπογραφία, Διαθέσιμο από: <https://www.bizdim.gr/index.php/tehnologiaektyposeon/thebook/30-gutenberg> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Μπιτζένης Δημήτριος, Η Μεταξοτυπία. Διαθέσιμο από: <https://www.bizdim.gr/index.php/tehnologiaektyposeon/thebook/33-silkscreen> (Τελευταία Επίσκεψη: 10/6/2021)
- ❖ Νομικός Σπυρίδων, 2014. «Νέες Τεχνολογίες Εκτύπωσης. Ενότητα 3: Σύγχρονες Μέθοδοι Εκτύπωσης Οπτικής Επικοινωνίας». Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [ocp.teiath.gr](http://ocp.teiath.gr)
- ❖ Προστασία μετάλλων με ανοδική οξειδωση. Διαθέσιμο από: [https://eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/GETA118/%CE%91%CF%83%CE%BA%CE%B7%CF%83%CE%B7%208\\_%CE%91%CE%BD%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CF%89%CF%83%CE%B7%20%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%85%CE%BC%CE%B9%CE%BD%CE%AF%CE%BF%CF%85.pdf](https://eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/GETA118/%CE%91%CF%83%CE%BA%CE%B7%CF%83%CE%B7%208_%CE%91%CE%BD%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CF%89%CF%83%CE%B7%20%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%85%CE%BC%CE%B9%CE%BD%CE%AF%CE%BF%CF%85.pdf)
- ❖ Τσαγκαράκη – Καπλάνογλου Ειρήνη, 2005. Προστασία από την διάβρωση, χρώματα και βερνίκια, ΟΕΔΒ, Αθήνα.
- ❖ Τσαγκαράκη – Καπλάνογλου Ειρήνη, Θεοχάρη Σταματίνα, Καραγιάννη Βασιλική, 1995. Μέθοδοι διεύρυνσης των χρωματισμών του αλουμινίου, Χημικά Χρονικά, Τεύχος 10.

## Πηγές Εικόνων

- Εικόνα 1. Διαθέσιμη από:  
[http://195.134.76.37/chemicals/images/Al2O3/Al2O3\\_Alumen.jpg](http://195.134.76.37/chemicals/images/Al2O3/Al2O3_Alumen.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 2. Διαθέσιμη από:  
[http://195.134.76.37/chemicals/images/Al2O3/Al2O3\\_exposition.jpg](http://195.134.76.37/chemicals/images/Al2O3/Al2O3_exposition.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 3 (α) . Διαθέσιμη από:  
[https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ0q3PAuHI7-j58kWFLCWwLf\\_Vzvtv75qWb\\_SA&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ0q3PAuHI7-j58kWFLCWwLf_Vzvtv75qWb_SA&usqp=CAU) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 3 (β). Διαθέσιμη από:  
[http://195.134.76.37/chemicals/images/Al2O3/Al2O3\\_Jamaica.jpg](http://195.134.76.37/chemicals/images/Al2O3/Al2O3_Jamaica.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 4. Διαθέσιμη από:  
[https://mparolas.gr/wp-content/uploads/2015/07/istoria\\_al4.jpg](https://mparolas.gr/wp-content/uploads/2015/07/istoria_al4.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 5. Διαθέσιμη από :  
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/Aluminium-4.jpg> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 6. Διαθέσιμη από: <https://www.offsetprintingtechnology.com/wp-content/uploads/2011/12/pixlr-002.jpg> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 7. Διαθέσιμη από: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRt1Tj3-87BOdbJTAcbgh73Yy-aVqT-eqTboQ&usqp=CAU> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 8 (α). Διαθέσιμη από: [https://2.bp.blogspot.com/\\_5FeDCxJDLn4/Sw-Mk4qB-PI/AAAAAAAAAsA/mWIesBuZpkk/s1600/IMG\\_0094%5B1%5D.jpg](https://2.bp.blogspot.com/_5FeDCxJDLn4/Sw-Mk4qB-PI/AAAAAAAAAsA/mWIesBuZpkk/s1600/IMG_0094%5B1%5D.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 8 (β). Διαθέσιμη από:  
<https://5rrorwxhknrijj.lodycdn.com/cloud/iqBqIKoqRilSrlioijn/Aluminum-Material-high-quality-refillable-coffee-capsule-cup3.jpg> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 8 (γ). Διαθέσιμη από: [https://www.freepik.com/premium-photo/pills-aluminum-blister-pack-isolated-white\\_7793518.htm](https://www.freepik.com/premium-photo/pills-aluminum-blister-pack-isolated-white_7793518.htm) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 8 (δ). Διαθέσιμη από:  
<https://sxcospack.com/wp-content/uploads/2015/10/LAL20-15ml-30ml-50ml-80ml-Aluminum-Cosmetic-Bottle-1-750x750.jpg> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 9 (α). Διαθέσιμη από:  
[http://www.mentality10.com/images/ARTICLES/HMEROLOGIO/FLEVARIS/img\\_gutenberg\\_big-720x460.jpg](http://www.mentality10.com/images/ARTICLES/HMEROLOGIO/FLEVARIS/img_gutenberg_big-720x460.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 9 (β). Διαθέσιμη από:  
<https://www.sciencephoto.com/media/776011/view/stanhope-press-first-iron-printing-press-1806> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)

- Εικόνα 10. Διαθέσιμη από:  
<http://flex-pack.cn/wp-content/uploads/2017/03/aluminum-foil-lids-500x500.jpg>  
(Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 11. Διαθέσιμη από:  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a7/Large\\_format\\_digital\\_printer.jpg/800px-Large\\_format\\_digital\\_printer.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a7/Large_format_digital_printer.jpg/800px-Large_format_digital_printer.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 12. Διαθέσιμη από: <https://image.slidesharecdn.com/guynewcombetonejet-120301024737-phpapp02/95/guy-newcombe-the-metal-packaging-opportunity-13-728.jpg?cb=1330765187> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 13 (α). Διαθέσιμη από: <https://image.slidesharecdn.com/presentazione-decoral-bologna-19-05-2011-120127060103-phpapp02/95/decoral-system-bologna-19052011-aluminium-2000-3-728.jpg?cb=1327648988> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 13 (β). Διαθέσιμη από:  
[https://image7.zibster.com/5220/10\\_20191209125332\\_9632739\\_large.jpg](https://image7.zibster.com/5220/10_20191209125332_9632739_large.jpg)  
(Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 14. Διαθέσιμη από:  
<https://eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/GETA118/%CE%91%CF%83%CE%BA%CE%B7%CF%83%CE%B7%20%CE%91%CE%BD%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CF%89%CF%83%CE%B7%20%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%85%CE%BC%CE%B9%CE%BD%CE%AF%CE%BF%CF%85.pdf> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 15 (α). Διαθέσιμη από:  
<https://www.protocase.com/img/products/mcf/anodize-tank.jpg> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 15 (β). Διαθέσιμη από: <https://www.semanticscholar.org/paper/Surface-Treatment-of-Aluminium-by-Anodizing%3A-A-Sharma-Suri/043a61e33e9f5d82c33ad3689415b59417cbb606/figure/2> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 16 (α). Διαθέσιμη από:  
<https://cdn.ymaws.com/www.anodizing.org/resource/resmgr/Images/AnodizedCoatingArt.jpg> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 16 (β). Διαθέσιμη από:  
<https://cdn.ymaws.com/www.anodizing.org/resource/resmgr/Images/AnodizedTreeArt.jpg> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 17 (α). Διαθέσιμη από:  
<https://cdn.ymaws.com/www.anodizing.org/resource/resmgr/Images/SapaMirabellaTr Ellis.jpg> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 17 (β). Διαθέσιμη από:  
[https://cdn.ymaws.com/www.anodizing.org/resource/resmgr/Images/AnodizedHandrails\\_ISS.jpg](https://cdn.ymaws.com/www.anodizing.org/resource/resmgr/Images/AnodizedHandrails_ISS.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 20. Διαθέσιμη από: <https://www.uniwa.gr/to-panepistimio/optiki-taytotita/meros-2o/> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)

- Εικόνα 21 (α). Διαθέσιμη από: [https://action-press.co.uk/wp-content/uploads/2017/07/coated\\_uncoated.jpg](https://action-press.co.uk/wp-content/uploads/2017/07/coated_uncoated.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 24 (α). Διαθέσιμη από: <https://www.researchgate.net/profile/Abdussalam-Ali-3/publication/234131526/figure/fig1/AS:300082965565440@1448556762077/Silicon-thin-film-deposition-process-by-screen-printing-technique.png> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 24 (β). Διαθέσιμη από: [https://dharma-www.s3.amazonaws.com/images/public/instructional/lil\\_blue\\_screenprinting101/0003-lbb-screen-printing-101-3.jpg](https://dharma-www.s3.amazonaws.com/images/public/instructional/lil_blue_screenprinting101/0003-lbb-screen-printing-101-3.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 33. Διαθέσιμη από: [https://tse1.mm.bing.net/th?id=OIP.Pw9q9Zwrla-CLApIHVpk\\_AHaCk&pid=Api/?](https://tse1.mm.bing.net/th?id=OIP.Pw9q9Zwrla-CLApIHVpk_AHaCk&pid=Api/?) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 37. Διαθέσιμη από: <https://i.pinimg.com/originals/96/5c/01/965c018c3a4505ffb28517a6978fe62c.png> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- Εικόνα 40. Διαθέσιμη από: <https://i.ytimg.com/vi/YSmn-FSnaNI/hqdefault.jpg> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- ❖ Εικόνα 42. Διαθέσιμη από: [https://www.sensientindustrial.com/images/uploads/manipulations/\\_ansel\\_image\\_cache/b72f29bab6bacf15c2cb85df43399db5.png](https://www.sensientindustrial.com/images/uploads/manipulations/_ansel_image_cache/b72f29bab6bacf15c2cb85df43399db5.png) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- ❖ Εικόνα 43. Διαθέσιμη από: <https://www.xrite.com/learning-color-education/other-resources/what-is-a-spectrophotometer> (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- ❖ Εικόνα 44. Διαθέσιμη από: [https://www.prestogroup.com/intranet/uploads/letter\\_head/Test-the-Resistance-of-Coating-to-Separation-with-Cross-Hatch-tester-presto-group-11Nov.jpg](https://www.prestogroup.com/intranet/uploads/letter_head/Test-the-Resistance-of-Coating-to-Separation-with-Cross-Hatch-tester-presto-group-11Nov.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 21/7/2021)
- ❖ Εικόνα 52 (α). Διαθέσιμη από: [https://www.ascott-analytical.com/wp-content/uploads/2017/09/1\\_1-CCT-Salt-Spray-Version.jpg](https://www.ascott-analytical.com/wp-content/uploads/2017/09/1_1-CCT-Salt-Spray-Version.jpg) (Τελευταία Επίσκεψη: 27/7/2021)