



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΙΙΙ: ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ποιοτικός έλεγχος με έμφαση στο ιξώδες
βιομηχανικών και ναυτιλιακών χρωμάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τρομπέτα Αικατερίνη – Φλώρα

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Α. Χαριτίδης

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 05/07/2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΙΙΙ: ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

**Ποιοτικός έλεγχος με έμφαση στο ιξώδες
βιομηχανικών και ναυτιλιακών χρωμάτων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τρομπέτα Αικατερίνη - Φλώρα

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Χαριτίδης

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 05/07/2013

Κωνσταντίνος Α. Χαριτίδης, Καθηγητής ΕΜΠ – Επιβλέπων

Παναγιώτα Βασιλείου, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Λουκάς Ζουμπουλάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 05/07/2013

*Αφιερώνεται στον πατέρα μου,
Τρομπέτα Άγγελο*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου, κ. Κωνσταντίνο Χαριτίδη για το ενδιαφέρον που μου έδειξε και τη συμπαράστασή του. Αποτέλεσε εμπνευστής του παρόντος θέματος και καθοδηγητής σε όλα τα βήματα διεκπεραίωσής του.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στην εταιρία WilckensPaints Βιομηχανία Χρωμάτων Α.Ε.Β.Τ.Ε., υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση του Δρ.Ευριπίδη Τσαούσογλου, διευθυντή παραγωγής, τον οποίο και ευχαριστώ για το χρόνο που διέθεσε.

Επιπλέον, ευχαριστώ την εταιρεία και όλο το προσωπικό της, που μου διέθεσε τα απαραίτητα υλικά, όργανα και εργαλεία, προκειμένου να εκτελέσω τις μετρήσεις μου.

Μέρος των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε και στο εργαστήριο Τεχνικής και Επιστήμης των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, με τη βοήθεια της Υπ. Διδάκτορα Βάσιας Τσικουρκιτούδη και της Ι.Δ.Α.Χ. Κατερίνας Δελέγκου, οι οποίες φάνηκαν πρόθυμες να με εξυπηρετήσουν στις μετρήσεις της οπτικής μικροσκοπίας.

Ακόμα, ευχαριστώ πολύ την Ι.Δ.Α.Χ. Ειρήνη Κανελλοπούλου, η οποία έλεγξε την ορθότητα των αποτελεσμάτων και με συμβούλεψε ως προς διεκπεραίωση και βελτίωση των πειραματικών διαδικασιών και μεθόδων.

Πολλές ευχαριστίες στην Υπ. Διδάκτορα Αμαλία Σκαρμούτσου για τις διορθώσεις, τις εύστοχες παρατηρήσεις και την τεχνική επιμέλεια της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερω τον πατέρα μου, Τρομπέτα Άγγελο για τη στήριξη του και την πολύτιμη βοήθειά του, καθώς χωρίς αυτόν δε θα μπορούσα να ολοκληρώσω την παρούσα διπλωματική.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να παρουσιάσει την αναγκαιότητα ύπαρξης ποιοτικού ελέγχου στα βιομηχανικά και ναυτιλιακά χρώματα, ιδιαίτερα ως προς τις φυσικές τους ιδιότητες, όπως το ιξώδες.

Το ιξώδες είναι μια από τις σημαντικότερες φυσικές ιδιότητες των χρωμάτων. Η κύρια παράμετρος που το επηρεάζει είναι η θερμοκρασία, μεταβάλλοντας τη ρεολογική συμπεριφορά του, κυρίως κατά την εφαρμογή, ενώ παράγοντες όπως ο χρόνος αποθήκευσης, η χρήση διαλυτών και η σύσταση / ποιότητα των χρησιμοποιούμενων ρητινών επηρεάζουν την τελική απόδοση των χρωμάτων.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιείται κυρίως ένα περιστροφικό ιξωδόμετρο τύπου Brookfield, μέσω του οποίου πραγματοποιείται πληθώρα δοκιμών ιξώδους. Ελέγχεται κατά κύριο λόγο η ψευδοπλαστικότητα των χρωμάτων, καθώς επίσης και η θιξοτροπία, ενώ συγκρίσεις πραγματοποιούνται ανάμεσα σε αλκυδικά χρώματα με διαφορετικό συνδετικό μέσο.

Έμφαση δίνεται και στον έλεγχο των Α' υλών και δη των ρητινών, καθώς αυτές αποτελούν το κύριο συστατικό των χρωμάτων. Έτσι, αποδεικνύεται ότι κάθε ρητίνη, ενώ προορίζεται για την ίδια χρήση και περιγράφεται από συγκεκριμένες προδιαγραφές, μπορεί να έχει τελείως διαφορετική ρεολογική συμπεριφορά, με αποτέλεσμα να επηρεάζει την τελική ποιότητα του χρώματος.

Παράλληλα, πραγματώνεται μια σειρά τεστ ποιοτικού ελέγχου κατά τη διάρκεια της παραγωγής, ώστε να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο προφίλ των προϊόντων και να καταγραφούν όλα τα χαρακτηριστικά που τα χρήζουν ποιοτικά και ανταγωνιστικά στην αγορά. Ελέγχεται η απόχρωση σύμφωνα με το πρότυπο RAL, η καλυπτικότητα σε διάφορα πάχη υγρού υμένα, μετράται το ειδικό βάρος πλήθους δειγμάτων και προσδιορίζεται ο χρόνος στεγνώματος υπό την επίδραση στεγνωτικών μέσων.

Γίνεται τέλος δοκιμή επί ξηρής βάσης με στόχο να προσδιοριστούν ελαττώματα που προκύπτουν κατά την παραγωγή, αλλά δεν εντοπίζονται κατά τον ποιοτικό έλεγχο στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to present the quality control need for industrial and marine paints, especially concerning their physical properties, such as viscosity.

Viscosity is one of the most important paint properties, because it is influenced by temperature, which affects paint's behavior during application. Moreover, storage life, use of different solvents and chemical composition of resins, can affect paint's quality.

In this occasion, through a Brookfield type rotational viscometer, numerous quality control tests are carried out. Pseudoplasticity and thixotropy are mainly detected and alkyd paints with different binders are compared.

Quality control of raw materials is emphasized and especially resin's effect on paint's viscosity is examined, since resin is the main substance of paints. Although, all resins are used for the same reason and have the same technical characteristics, it is proven that each resin presents different rheological behavior. For this reason, the quality of the final product it is affected.

In addition, some quality control tests during production are performed, to examine all the other quality characteristics and define the complete profile of the paints' physical properties. Color appearance that is described by RAL standard and hiding power for different wet film thicknesses are checked for a specific paint. Moreover, special gravity is measured for a variety of samples. Finally, determination of set-to-touch drying and hard trying proves the efficiency of tackifying agents.

Lastly, a problematic dry coating of chlorinated rubber paint on a metallic substrate is examined, to prove that production imperfections are observed while application, without being detected on production's quality control.

All these, offer flexibility and control ability in all stages of production. Paint products become better and more competitive, able to satisfy every customer's need.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γενικά.....	3
1.1. Χρώμα.....	3
1.2. Ανάλυση Α' Υλών.....	3
1.2.1. Συνδετικά μέσα.....	3
1.2.2. Πιγμέντα.....	4
1.2.3. Διαλύτες.....	5
1.2.4. Πρόσθετα.....	7
1.3. Παραγωγικές διαδικασίες.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Βιομηχανικά και ναυτιλιακά χρώματα.....	12
2.1. Αστάρια μετάλλων.....	12
2.2. Αντιδιαβρωτικά επιστρώματα.....	14
2.3. Τελικά επιστρώματα.....	14
2.3.1. Αλκυδικά χρώματα.....	14
2.3.2. Χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ.....	16
2.3.3. Αντιρρυπαντικά χρώματα (antifouling).....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αλκυδικές ρητίνες οργανικού διαλύτου.....	21
3.1. Κατάταξη αλκυδικών ρητινών.....	21
3.2. Παραγωγή αλκυδικών ρητινών.....	22
3.3. Ιδιότητες αλκυδικών ρητινών.....	24
3.3.1. Ιξώδες.....	24
3.3.2. Αριθμός οξέων (Οξύτητα).....	25
3.3.3. Χρώμα.....	25
3.3.4. Ξήρανση.....	25
3.4. Εφαρμογές.....	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ποιοτικός έλεγχος χρωμάτων.....	27
4.1. Ιδιότητες χρωμάτων κατά τη σύνθεση.....	27
4.2. Ιδιότητες χρωμάτων σε υγρή φάση	28
4.2.1. Ιξώδες	28
4.2.2. Πυκνότητα.....	29
4.2.3. Βαθμός λειοτριβήσης	30
4.2.4. Καλυπτικότητα σε υγρή βάση.....	31
4.3. Ιδιότητες χρωμάτων κατά την εφαρμογή	31
4.3.1. Ξήρανση.....	31
4.3.2. Δάκρυσμα.....	33
4.3.3. Ελάχιστη θερμοκρασία σχηματισμού υμένα.....	33
4.3.4. Χρόνος ζωής μίγματος (pot - life).....	33
4.3.5. Ευκολία εφαρμογής του χρώματος	33
4.4. Ιδιότητες του ξηρού χρώματος.....	34
4.4.1. Στιλπνότητα.....	34
4.4.2. Καλυπτική ικανότητα	34
4.4.3. Λευκότητα	35
4.4.4. Απόχρωση.....	36
4.4.5. Σκληρότητα.....	36
4.4.6. Ελαστικότητα / Ευκαμψία	37
4.4.7. Πρόσφυση.....	37
4.4.8. Αντοχή στην τριβή	38
4.4.9. Ανωμαλίες επιφάνειας.....	38
4.4.10. Χημικές αντοχές.....	38
4.5. Φυσικοχημικές μέθοδοι χαρακτηρισμού.....	39
4.5.1. Οπτική μικροσκοπία.....	39
4.5.2. Φασματομετρία.....	39
4.5.3. Θερμοαναλυτικές τεχνικές.....	39
4.5.4. Χρωματογραφία.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ρεολογία των χρωμάτων	41
5.1. Τα χρώματα ως κολλοειδή συστήματα.....	42
5.2. Συνεκτικότητα ή ιξώδες	43
5.3. Θιξοτροπία	46
5.4. Κάθετες τάσεις (normal stress effects).....	48

Β. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μελέτη ιξώδους	50
6.1. Οργανολογία.....	50
6.1.1. Περιστροφικό ιξωδόμετρο	50
6.1.2. Κύπελλο ροής	54
6.2. Ποιοτικός έλεγχος Α' Υλών.....	56
6.2.1. Νευτώνεια συμπεριφορά ρητινών	56
6.2.2. Θερμοκρασιακή εξάρτηση ιξώδους ρητινών	57
6.2.3. Σύγκριση ιξώδους ρητινών.....	61
6.2.4. Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στο ιξώδες ρητινών	62
6.2.5. Επίδραση της αραίωσης στο ιξώδες ρητινών.....	63
6.2.6. Επίδραση της ρητίνης στο ιξώδες των χρωμάτων.....	66
6.3. Ποιοτικός έλεγχος χρωμάτων.....	68
6.3.1. Ψευδοπλαστική συμπεριφορά χρωμάτων	68
6.3.2. Επίδραση θερμοκρασίας στο ιξώδες αλκυδικών χρωμάτων	69
6.3.3. Επίδραση θερμοκρασίας στο ιξώδες χρωμάτων χλωριωμένου καουτσούκ.....	71
6.3.4. Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στο ιξώδες ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος	72
6.3.5. Επαναληψιμότητα μετρήσεων ανάμεσα σε διαφορετικές παρτίδες.....	73
6.3.6. Μελέτη ολοκληρωμένου συστήματος βαφής υφάλων πλοίου.....	74
6.4. Μελέτη θιξοτροπίας.....	75
6.4.1. Χρονική εξάρτηση ιξώδους.....	75
6.4.2. Έλεγχος θιξοτροπίας με αναστροφή ταχύτητας.....	77
6.4.3. Υπολογισμός συντελεστή θιξοτροπίας (thixotropic index)	79
6.5. Σφάλματα	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Έλεγχος απόχρωσης	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Έλεγχος Καλυπτικότητας	84
8.1. Οργανολογία.....	84
8.2. Καλυπτικότητα συναρτήσει πάχους υγρού υμένα	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Έλεγχος Πυκνότητας (Ειδικού βάρους)	86
9.1. Αρχή λειτουργίας.....	86
9.2. Οργανολογία.....	86
9.3. Πειραματική διαδικασία.....	86
9.3. Αποτελέσματα	87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Έλεγχος χρόνου στεγνώματος	88
10.1. Πειραματική διαδικασία.....	88
10.2. Αποτελέσματα	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: Μελέτη επιφάνειας με οπτική μικροσκοπία	90
11.1. Οργανολογία.....	90
11.1.1. Μικροσκόπιο οπτικών ινών	90
11.1.2. Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο.....	90
11.2. Πειραματική διαδικασία.....	91
11.3. Αποτελέσματα	91
Γ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	96
Δ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	99
Ε. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	102
1. Haake Viscotester C.....	102
2. Κατάλογος δειγμάτων	103
3. Τεχνικές προδιαγραφές αλκυδικών ρητινών.....	103
4. Μετατροπές κινηματικού ιξώδους	105
5. Πειραματικές μετρήσεις.....	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Βασικά συστατικά βιομηχανικού χρώματος.....	8
Εικόνα 2: Μηχανισμός λειτουργίας βιοκτόνου (12).....	18
Εικόνα 3: Χρήση διαφορετικών επιστρωμάτων στα διάφορα μέρη του πλοίου (36)	19
Εικόνα 4: Αντίδραση εστεροποίησης φθαλικού ανυδρίτη με γλυκερόλη, προς παραγωγή αλκυδικού (13)	22
Εικόνα 5: Κύπελλο ροής (16).....	28
Εικόνα 6: Ιξωδόμετρο Krebs – Stormer (44).....	29
Εικόνα 7: Πλάκα βαθμού λειοτρίβησης (16).....	30
Εικόνα 8: Κάρτες μέτρησης καλυπτικής ικανότητας (16).....	35
Εικόνα 9: Διάτμηση (22)	43
Εικόνα 10: Αριστερά: Νευτωνικό Ρευστό – Φυγόκεντρη δύναμη. Δεξιά: Πολυμερικό διάλυμα/Τήγμα - Εντροπική ελαστικότητα αλυσίδων που οδηγεί σε κάθετες δυνάμεις (22)	48
Εικόνα 11: Ηλεκτρονικό ιξωδόμετρο HAAKE VISCOESTER C	51
Εικόνα 12: Πληκτρολόγιο του ιξωδομέτρου HAAKE Viscotester C.....	51
Εικόνα 13: Άξονες τύπου L, περιστροφικού ιξωδομέτρου HAAKE Viscotester C (16).....	52
Εικόνα 14: Κύπελλο ροής DIN CUP #4# (16).....	55
Εικόνα 15: Ολοκληρωμένο σύστημα βαφής, που περιλαμβάνει αστάρι (red/brown), ενδιάμεσο στρώμα (light silver), τελικό επίστρωμα (antifouling-κόκκινο) (28)	75
Εικόνα 16: Πρότυπη βεντάλια αποχρώσεων RAL	83
Εικόνα 17: Αριστερά: Πρότυπη απόχρωση RAL 5021 Water Blue (30) Δεξιά: Παραγόμενο αλκυδικό χρώμα απόχρωσης RAL 5021	83
Εικόνα 18: Κάρτα καλυπτικότητας	84
Εικόνα 19: Αριστερά: Αρχή λειτουργίας εφαρμογέα Δεξιά: Εφαρμογή χρώματος σε κάρτα καλυπτικότητας (16)	84
Εικόνα 20: Από αριστερά προς τα δεξιά: Πάχος υγρού υμένα 30μm, 60μm, 90μm και 120μm	85
Εικόνα 21: Δοχείο πυκνότητας 100ml κατά ISO (16)	86
Εικόνα 22: Δοκίμιο ελέγχου χρόνου στεγνώματος, απλού ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος και ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος με πρόσθετα στεγνωτικά μέσα	89
Εικόνα 23: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο και διάγραμμα λειτουργίας αυτού (35)	91
Εικόνα 24: Αριστερά: μεγέθυνση X50, Δεξιά: Μεγέθυνση X120 (Μεταλλικό δείγμα, Οπτικών ινών)	92
Εικόνα 25: Αριστερά: Κάρτα ποιοτικού ελέγχου, Δεξιά: Μεταλλική επιφάνεια	92
Εικόνα 26: Αριστερά: Πάχος 120μm. Δεξιά: Πάχος > 120μm. (Μεγέθυνση X120, οπτικών ινών)	93
Εικόνα 27: Αριστερά: Πριν την κοπή, Δεξιά: Μετά την κοπή. (Μεγέθυνση X120, οπτικών ινών)	93
Εικόνα 28: Αριστερά: Πριν την κοπή, Δεξιά: Μετά την κοπή (Μεγέθυνση X200, μεταλλογραφικό)	94
Εικόνα 29: Αριστερά: Πάχος >120μm, Δεξιά: Πάχος 120μm (Μεγέθυνση X120, οπτικών ινών)	94
Εικόνα 30: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Μεγέθυνση X100. Εφαρμογή με τρίψιμο στη μεταλλική επιφάνεια	95
Εικόνα 31: Αριστερά: Κόκκος στην κάρτα ποιοτικού ελέγχου, Δεξιά: Κόκκος μετά την απόξεση	95

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Τυπικό διάγραμμα ροής παραγωγής χρωμάτων (41).....	10
Διάγραμμα 2: Συγκεντρωτικό διάγραμμα κύκλου ζωής βιομηχανικού χρώματος.....	11
Διάγραμμα 3: Καμπύλη ροής (A) και καμπύλη ιξώδους (B) νευτωνικών ρευστών (25)	44
Διάγραμμα 4: Καμπύλη ροής (A) και καμπύλη ιξώδους (B) ψευδοπλαστικών ρευστών (25)	45
Διάγραμμα 5: Καμπύλη ροής (A) και καμπύλη ιξώδους (B) διασταλτικών ρευστών (25)	45
Διάγραμμα 6: Καμπύλη ροής (A) και καμπύλη ιξώδους (B) πλαστικών ρευστών (25)	45
Διάγραμμα 7: Θικτοτροπική συμπεριφορά ρευστών (αριστερά) και ρεοπικτική συμπεριφορά ρευστών (δεξιά) (25)	46
Διάγραμμα 8: Διάγραμμα ροής ποιοτικών ελέγχων κατά τη διάρκεια της παραγωγής	49
Διάγραμμα 9: Αρχή λειτουργίας περιστροφικού ιξωδομέτρου (25)	50
Διάγραμμα 10: Μετρούμενες τιμές ιξώδους σε ταχυστέγνωτο αλκυδικό χρώμα, για χρόνους λήψης μέχρι 10min.....	53
Διάγραμμα 11: Καμπύλη βαθμονόμησης για ακροφύσιο 4mm (27)	54
Διάγραμμα 12: Κατασκευαστικά σχέδια flow cup (27)	55
Διάγραμμα 13: Ιξώδες συναρτήσει ταχύτητας περιστροφής όλων των αξόνων του ιξωδομέτρου στους 20°C, για ρητίνη μεγάλου μήκους λαδιού, σε διπλά λογαριθμικό διάγραμμα.....	56
Διάγραμμα 14: Ιξώδες ρητίνης μεγάλου μήκους λαδιού συναρτήσει ταχύτητας περιστροφής για τους άξονες L1, L2, L3, L4 του περιστροφικού ιξωδομέτρου HAAKE Viscotester C.....	57
Διάγραμμα 15: Θερμοκρασιακή εξάρτηση ιξώδους για ρητίνη μεγάλου μήκους λαδιού.....	58
Διάγραμμα 16: Μεταβολή ιξώδους για διαφορά θερμοκρασίας 5 °C για ρητίνη μικρού μήκους λαδιού Izelkyd Rap 38x60	59
Διάγραμμα 17: Μεταβολή ιξώδους για διαφορά θερμοκρασίας 5 °C, για τη ρητίνη μικρού μήκους λαδιού Kayalar RB147	59
Διάγραμμα 18: Συγκριτική παράθεση μεταβολής ιξώδους ως προς τη θερμοκρασία, για ρητίνες μεγάλου και μικρού μήκους λαδιού.....	60
Διάγραμμα 19: Συγκριτική παράθεση ιξώδους ρητινών μικρού μήκους λαδιού στους 20 °C. 61	
Διάγραμμα 20: Διαφοροποίηση ιξώδους ανάμεσα σε διαφορετικές παρτίδες της ίδιας ρητίνης	62
Διάγραμμα 21: Σύγκριση ιξώδους της ίδιας ρητίνης, μετά το πέρασμα 3 μηνών σε διαφορετικές θερμοκρασίες	62
Διάγραμμα 22: Ιξώδες ρητίνης μεγάλου μήκους λαδιού, συναρτήσει περιεκτικότητας σε White Spirit.....	64
Διάγραμμα 23: Ιξώδες ρητίνης μικρού μήκους λαδιού, συναρτήσει περιεκτικότητας σε ξυλόλη	64
Διάγραμμα 24: Διπλά λογαριθμικό διάγραμμα ιξώδους συναρτήσει ταχύτητας περιστροφής για ρητίνη μικρού μήκους λαδιού	65
Διάγραμμα 25: Διπλά λογαριθμικό διάγραμμα ιξώδους συναρτήσει ταχύτητας περιστροφής για διάλυμα ρητίνης μικρού μήκους λαδιού 50% w/w.....	65
Διάγραμμα 26: Συγκριτική παράθεση ιξώδους συναρτήσει διάτμησης για ρητίνη μεγάλου μήκους λαδιού και παραγόμενο αλκυδικό χρώμα.....	66

Διάγραμμα 27: Συγκριτική παράθεση ιξώδους συναρτήσει διάτμησης για ρητίνη μικρού μήκους λαδιού και παραγόμενο ταχυστέγνωτο αλκυδικό χρώμα.....	67
Διάγραμμα 28: Πορεία ιξώδους υπό αυξανόμενη διάτμηση για αλκυδικό χρώμα	68
Διάγραμμα 29: Επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο ροής αλκυδικών χρωμάτων.....	69
Διάγραμμα 30: Ιξώδες αλκυδικού χρώματος, ως συνάρτηση της διατμητικής τάσης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες	70
Διάγραμμα 31: Μεταβολή ιξώδους ως προς θερμοκρασία υπό σταθερή διάτμηση, για αλκυδικό χρώμα	70
Διάγραμμα 32: Ιξώδες συναρτήσει λογαρίθμου ταχύτητας περιστροφής στη θερμοκρασία των 23°C, για αστάρι χλωριωμένου καουτσούκ.....	71
Διάγραμμα 33: Ιξώδες συναρτήσει λογαρίθμου ταχύτητας περιστροφής στη θερμοκρασία των 28°C, για αστάρι χλωριωμένου καουτσούκ.....	72
Διάγραμμα 34: Ιξώδες αλκυδικού ταχυστέγνωτου χρώματος, σε όλο το εύρος ταχυτήτων περιστροφής, μετά το πέρασμα 6 μηνών από την ημέρα παραγωγής και εξέτασής του	73
Διάγραμμα 35: Έλεγχος επαναληψιμότητας ιξώδους ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος	74
Διάγραμμα 36: Μεταβολή ιξώδους ως προς αυξανόμενη διάτμηση, για ένα ολοκληρωμένο σύστημα βαφής πλοίου.....	74
Διάγραμμα 37: Τρισδιάστατο διάγραμμα μεταβολής ιξώδους ναυτιλιακού χρώματος χλωριωμένου καουτσούκ, ως προς ρυθμό διάτμησης και χρόνο.....	76
Διάγραμμα 38: Μεταβολή ιξώδους ως προς το χρόνο για ναυτιλιακό χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ	76
Διάγραμμα 39: Ποσοστιαία μείωση ιξώδους ναυτιλιακού χρώματος χλωριωμένου καουτσούκ σε συνάρτηση με το χρόνο, υπό διάτμηση σε υψηλές ταχύτητες	77
Διάγραμμα 40: Έλεγχος θιξοτροπίας με αναστροφή ταχύτητας, ρητίνης, χρώματος χλωριωμένου καουτσούκ και αλκυδικών χρωμάτων	79
Διάγραμμα 41: Εσφαλμένα τεστ θιξοτροπίας με αναστροφή ταχύτητας σε ρητίνη, λόγω ρευμάτων αέρα.....	81
Διάγραμμα 42: Τιμές ιξώδους ρητίνης μεγάλου μήκους λαδιού άξονα L2 (αριστερά) και μικρού μήκους λαδιού για άξονα L3 (δεξιά).....	82
Διάγραμμα 43: Ιξώδες αλκυδικού χρώματος μετρημένο δύο διαδοχικές ημέρες με τον άξονα L1	82

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Αποχρώσεις πιγμέντων	5
Πίνακας 2: Διάφορα πρόσθετα στη βιομηχανία χρωμάτων	9
Πίνακας 3: Σύγκριση ασταριών βιομηχανικής χρήσης	13
Πίνακας 4: Κοινά αστάρια ναυτιλιακής χρήσης	13
Πίνακας 5: Ιδιότητες αλκυδικών χρωμάτων.....	15
Πίνακας 6: Χαρακτηριστική συνταγή Coal-Tar	18
Πίνακας 7: Σύστημα επιστρωμάτων για διαφορετικά μέρη του πλοίου.....	20
Πίνακας 8: Συστατικά αλκυδικής ρητίνης.....	23
Πίνακας 9: Κατάλογος επιμέρους ελέγχων ποιότητας για βιομηχανικά και ναυτιλιακά χρώματα	40
Πίνακας 10: Λειτουργίες ηλεκτρολογίου	51
Πίνακας 11: Μέσοι όροι τιμών ξώδους (mPa s) με τυπικές αποκλίσεις, για τους τέσσερις άξονες του ξωδομέτρου και τρεις κοντινές θερμοκρασίες.	58
Πίνακας 12: Μετρήσεις χρόνου ροής συναρτήσει θερμοκρασίας με DIN CUP #4 για δύο ρητίνες.....	60
Πίνακας 13: Περιεκτικότητες κατά βάρος σε διαλύτη, των διαλυμάτων των δύο ρητινών ...	63
Πίνακας 14: Χρόνοι ροής για αλκυδικά χρώματα.....	69
Πίνακας 15: Βαθμοί θιξοτροπίας	78
Πίνακας 16: Συντελεστές θιξοτροπίας	80
Πίνακας 17: Ειδικά βάρη.....	87
Πίνακας 18: Χρόνοι στεγνώματος.....	89
Πίνακας 19: Επιλογή άξονα ξωδομέτρου κατά το πρότυπο L.....	102
Πίνακας 20: Χρησιμοποιούμενες ρητίνες και χρώματα	103
Πίνακας 21: Πιστοποιητικό ανάλυσης από KAYALAR KIMYA SAN. VE TIC. SA.....	103
Πίνακας 22: Πιστοποιητικό ανάλυσης από Veltro S.A.	103
Πίνακας 23: Πιστοποιητικό ανάλυσης από MEGARA RESINS.....	104
Πίνακας 24: Μετατροπές κινηματικού ξώδους	105
Πίνακας 25: Μετρήσεις ξώδους ρητίνης ALKYD 65-60 SW HV (μεγάλου μήκους λαδιού) σε τρεις θερμοκρασίες με όλους τους άξονες.....	106
Πίνακας 26: Τιμές ξώδους ρητίνης ALKYD 65-60 SW HV (μεγάλου μήκους λαδιού) σε τέσσερις θερμοκρασίες, με όλους τους άξονες του περιστροφικού ξωδομέτρου	107
Πίνακας 27: Τιμές ξώδους ρητίνης MEGALKYD 32-60 SXX (μικρού μήκους λαδιού) παρτίδας 29315, σε τρεις θερμοκρασίες, με όλους τους άξονες του περιστροφικού ξωδομέτρου	108
Πίνακας 28: Τιμές ξώδους ρητίνης MEGALKYD 32-60 SXX (μικρού μήκους λαδιού) παρτίδας 29477, σε τέσσερις θερμοκρασίες, με όλους τους άξονες του περιστροφικού ξωδομέτρου	109
Πίνακας 29: Τιμές ξώδους ρητίνης IZELKYD RAP 38x60 (μικρού μήκους λαδιού) στη θερμοκρασία των 20 °C.....	110
Πίνακας 30: Τιμές ξώδους ρητίνης ALKYD 65-60 (μεγάλου μήκους λαδιού) ως προς τις αραιώσεις της με White Spirit για κάθε άξονα του περιστροφικού ξωδομέτρου	111
Πίνακας 31: Τιμές ξώδους ρητίνης SDA – EAGLE (Sx35-46.60) (μικρού μήκους λαδιού) ως προς τις αραιώσεις της με φυλόλη για κάθε άξονα του περιστροφικού ξωδομέτρου.....	111

Πίνακας 32: Τιμές ιξώδους αλκυδικού χρώματος απόχρωσης RAL 5021 σε τέσσερις θερμοκρασίες.....	112
Πίνακας 33: Τιμές ιξώδους (mPa s)των χρωμάτων του συστήματος βαφής των υφάλων πλοίου.....	112
Πίνακας 34: Ιξώδες ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος κατά την παραγωγή του και μετά από αποθήκευση 6 μηνών	113
Πίνακας 35: Ιξώδες ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος, δύο παρτίδων σε θερμοκρασία 20 °C.....	114
Πίνακας 36: Επίδραση θέση άξονα στο ιξώδες ρητινών μικρού (αριστερά) και μεγάλου (δεξιά) μήκους λαδιού.....	114
Πίνακας 37: Τιμές ιξώδους σε δύο θερμοκρασίες με όλους τους άξονες του περιστροφικού ιξωδομέτρου για αστάρι χλωριωμένου καουτσούκ.....	115
Πίνακας 38: Τιμές ιξώδους ρητίνης IZELKYD RAP 38x60 (μικρού μήκους λαδιού), στους 25 °C με τον άξονα L1.....	116
Πίνακας 39: Τιμές ιξώδους ρητίνης KAYALAR RB147 (μικρού μήκους λαδιού) σε δύο θερμοκρασίες.....	116
Πίνακας 40: Τιμές ιξώδους αλκυδικού χρώματος ως προς ταχύτητα περιστροφής για 30min	117
Πίνακας 41: Τιμές ιξώδους κατά τον έλεγχο της θιξοτροπίας ασταριού χλωριωμένου καουτσούκ με τον άξονα L3 του περιστροφικού ιξωδομέτρου σε θερμοκρασία δωματίου .	118
Πίνακας 42: Έλεγχος θιξοτροπίας ρητίνης	119
Πίνακας 43: Έλεγχος θιξοτροπίας αλκυδικού χρώματος	119
Πίνακας 44: Έλεγχος θιξοτροπίας ασταριού χλωριωμένου καουτσούκ.....	119
Πίνακας 45: Έλεγχος θιξοτροπίας ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος	119

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική καλύπτει ένα ευρύ φάσμα ποιοτικών ελέγχων, που εξαρτώνται από πληθώρα φυσικοχημικών ιδιοτήτων των χρωμάτων. Παράλληλα, επειδή υπάρχει μεγάλη ποικιλία βιομηχανικών και ναυτιλιακών χρωμάτων, γίνεται η προσπάθεια ομαδοποίησης τους και εξέτασης ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος. Έτσι, η όλη εργασία ακολουθεί την εξής πορεία:

Το θεωρητικό μέρος αποτελείται από πέντε κεφάλαια, στα οποία γίνεται προσπάθεια κάλυψης όλων των πτυχών που χαρακτηρίζουν τον ποιοτικό έλεγχο των χρωμάτων.

Στο πρώτο κεφάλαιο, καλύπτονται όλες οι βασικές αρχές που διέπουν την παραγωγή βιομηχανικών και ναυτιλιακών χρωμάτων. Γίνεται ανάλυση των πρώτων υλών και περιγραφή των παραγωγικών διαδικασιών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται λόγος για τις κατηγορίες βιομηχανικών και ναυτιλιακών χρωμάτων, όπως επίσης και τομείς εφαρμογής αυτών. Αναλύονται συγκεκριμένα τα συστήματα βαφής και παρουσιάζονται τα επιμέρους είδη βιομηχανικών και ναυτιλιακών χρωμάτων.

Μια εκτεταμένη ανάλυση των αλκυδικών ρητινών που αποτελούν το κύριο συστατικό των βιομηχανικών και ναυτιλιακών χρωμάτων, πραγματοποιείται στο τρίτο κεφάλαιο. Περιγράφονται οι διαδικασίες παραγωγής τους, η σύνθεση και οι ιδιότητές τους, που παίζουν σημαντικότατο ρόλο στην ποιότητα του χρώματος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται αναλυτικά οι συνηθέστεροι τρόποι ποιοτικού ελέγχου, δίνοντας έμφαση στον ποιοτικό έλεγχο κατά την παραγωγή, που είναι και το κυρίως αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, αναλύονται κάποια χαρακτηριστικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα είτε κατά την παραγωγή είτε κατά τον ποιοτικό έλεγχο και αφορούν κυρίως ρευστομηχανικές ιδιότητες. Αυτά ασκούν ιδιαίτερη επίδραση κατά τις διαδικασίες μέτρησης, γι' αυτό και είναι αναγκαία η ανάλυσή τους. Έμφαση δίνεται στην έννοια του ιξώδους.

Η ανάπτυξη του πειραματικού μέρους, βασίζεται στην πραγματική ακολουθία ποιοτικών ελέγχων που λαμβάνουν χώρα την ώρα της παραγωγής ενός χρώματος. Για λόγους όμως έμφασης, το έκτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στη μελέτη του ιξώδους, που αποτελεί τον κύριο όγκο του πειραματικού μέρους της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στη συνέχεια, όλα τα υπόλοιπα κεφάλαια, ακολουθούν τη προδιαγεγραμμένη σειρά.

Επομένως, στο έβδομο κεφάλαιο, περιγράφεται ο ποιοτικός έλεγχος της απόχρωσης. Παρατίθεται η πρότυπη απόχρωση κατά RAL και συγκρίνεται ποιοτικά με την απόχρωση του παραγόμενου χρώματος.

Στο όγδοο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο ποιοτικός έλεγχος καλυπτικότητας. Με δοκιμές σε διάφορα πάχη υγρού υμένα καταλήγουμε στην επιθυμητή κάλυψη σε συγκεκριμένο πάχος, που προσομοιάζει τις πραγματικές συνθήκες βαφής.

Στο ένατο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στη μέτρηση της πυκνότητας ή ειδικού βάρους και πραγματοποιείται σύγκριση ανάμεσα σε πληθώρα δειγμάτων και συγκεκριμένα σε δύο αλκυδικά χρώματα, ενός απλού κι ενός ταχυστέγνωτου, που βασίζονται στην ίδια συνταγή, αλλά έχουν παρασκευαστεί με διαφορετική ρητίνη.

Ο χρόνος ξήρασης αναλύεται διεξοδικά στο δέκατο κεφάλαιο και πραγματοποιούνται συγκρίσεις τόσο ανάμεσα στο απλό αλκυδικό χρώμα και στο αντίστοιχο ταχυστέγνωτο, όσο και στην επίδραση στεγνωτικών στο χρόνο στεγνώματος.

Τέλος, το ενδέκατο κεφάλαιο, αφορά τη μελέτη επιφανείας με οπτική μικροσκοπία, η οποία είναι μια μέθοδος ποιοτικού ελέγχου που δεν εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια της παραγωγής, αλλά μετά την εφαρμογή του χρώματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ελέγχεται ένα προβληματικό ναυτιλιακό χρώμα και εντοπίζεται η αιτία του προβλήματος, η οποία δεν έγινε φανερή κατά τον ποιοτικό έλεγχο στη διάρκεια της παραγωγής.

Στο παράρτημα παρατίθεται αρχικά ο πίνακας με όλα τα εύρη των ταχυτήτων περιστροφής του περιστροφικού ιξωδομέτρου HAAKE Viscotester C και εν συνεχεία κατάλογοι με τα δείγματα που μελετήθηκαν και τις τεχνικές προδιαγραφές των ρητινών που εξετάστηκαν. Παρατίθεται επίσης ένας χρήσιμος πίνακας με όλες τις δυνατές μετατροπές μονάδων κινηματικού ιξώδους, που εφαρμόζονται κυρίως στις μετρήσεις με το κύπελλο ροής. Τέλος, παρουσιάζονται όλες οι πειραματικές μετρήσεις ιξώδους.

Α. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γενικά

1.1. Χρώμα

Χρώμα ορίζεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 547-I, το προϊόν σε υγρή ή στερεή μορφή (σκόνη) που περιέχει πιγμέντα (χρωστικές), το οποίο όταν εφαρμοστεί στην προς βαφή επιφάνεια σχηματίζει αδιαφανή υμένα με διακοσμητικές, προστατευτικές ή ειδικές τεχνικές ιδιότητες. Ως επικαλύψεις χαρακτηρίζονται λεπτές στρώσεις που προσφύονται πολύ καλά στην προς κάλυψη επιφάνεια (1), (2).

Ως χρώμα παραδοσιακά θεωρείται η διασπορά σωματιδίων πιγμέντου (pigment particles) σε ένα φορέα (vehicle). Ο φορέας μπορεί να αποτελείται από το συνδετικό μέσο (binder), συνήθως μια ρητίνη ή λάδι και ένα υλικό αραίωσης (thinner), δηλαδή διαλύτες (νερό, οργανικοί διαλύτες). Σε αυτά προστίθενται τα γεμιστικά – πληρωτικά υλικά (fillers, extender) και άλλα πρόσθετα – βελτιωτικά (additives). Τέτοιου είδους χρώματα συνήθως αποτελούνται από 70% στερεά και 30% διαλύτες. Το πιγμέντο και το πληρωτικό υλικό βρίσκονται σε μορφή λεπτών σωματιδίων ή σκόνης, πρακτικά αδιάλυτων στο φορέα. Το συνδετικό μέσο είναι το μη πτητικό μέρος του φορέα, που σχηματίζει μετά το στέγνωμα τον υμένα (film) και συνδέει τα πιγμέντα (1).

1.2. Ανάλυση Α' Υλών

1.2.1. Συνδετικά μέσα

Το συνδετικό μέσο είναι το μέρος εκείνο του φορέα του χρώματος που δημιουργεί το υμένιο (film) μετά την εφαρμογή του χρώματος σε μια επιφάνεια. Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό περιλαμβάνουν γομαλάκα, λινέλαιο (ελαιοχρώματα), αλκυδικές ρητίνες, ρητίνες φορμαλδεΰδης – ουρίας, πολυεστέρες, ακρυλικά, εποξειδικά, πολυουρεθάνες, βινυλικά, παράγωγα καουτσούκ, πισσάσφαλτο κ.ά. (3).

Τα συνδετικά μέσα είναι αποκλειστικά πολυμερή ή προπολυμερή και ανήκουν και στις τρεις κατηγορίες των θερμοπλαστικών, θερμοσκληρυνόμενων και ελαστομερών πολυμερών. Το μέρος των πιγμένων και των συνδετικών μέσων χαρακτηρίζεται ως «μέρος των στερεών». Το άθροισμα του συνδετικού μέσου και του διαλύτη χαρακτηρίζεται ως «όχημα» (2).

Οι **αλκυδικές ρητίνες** διαλύονται σε οργανικούς διαλύτες. Χρησιμοποιούνται κυρίως στα χρώματα και τα βερνίκια οργανικών διαλυτών, αλλά και στα βερνίκια ξύλου, τα μελάνια και τα πλαστικά χρώματα. Οι αλκυδικές ρητίνες χημικώς είναι πολυμερή πολυεστέρων. Είναι προϊόντα συμπύκνωσης διβασικών οξέων (φθαλικού) με πολυαλκοόλες, γλυκερίδια, λιπαρά οξέα. Απαντώνται επίσης με τα ονόματα φθαλικές ρητίνες και γλυκεροφθαλικές ρητίνες, όπως ο πενταερυθρίτης. Κυκλοφορούν επίσης πολλές τροποποιημένες αλκυδικές ρητίνες με προσθήκη ξένων μορίων, συμπολυμερισμό κ.λ.π. (4).

Οι **εποξειδικές ρητίνες** είναι πολυμερή που περιέχουν περισσότερες από μια εποξειδικές ομάδες στο μόριό τους. Αυτές οι εποξειδικές ομάδες είναι εξαιρετικά ενεργές σε αντιδράσεις προσθήκης μορίων όπως οι αμίνες, τα οξέα, οι φαινόλες, οι θειόλες, οι αλκοόλες κ.λ.π. Η επιλογή μονομερών αλλά και μορίων για τις αντιδράσεις προσθήκης, προσφέρει πληθώρα εποξειδικών ρητινών, όπως εποξειδικές ρητίνες διφαινόλης, αλειφατικές, κυκοαλειφατικές, ετεροκυκλικές εποξειδικές ρητίνες κ.λ.π. Έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών στη βιομηχανία χρωμάτων (ναυτιλιακά, αντιδιαβρωτικά), στα χρώματα πούδρας, τις περιελίξεις νήματος, τη διάστρωση και τα επιχρίσματα (5).

Οι **πολυουρεθάνες** (polyurethanes) μπορεί να είναι οι κλασικές πολυουρεθάνες οργανικού διαλύτη ή οι σύγχρονες πολυουρεθάνες υδατικής διασποράς. Οι πρώτες βρίσκουν εφαρμογή στα χρώματα δυο συστατικών διαλύτη, πούδρας και υψηλής περιεκτικότητας σε στερεά. Φυσικά, οι σύγχρονες πολυουρεθάνες βρίσκουν εφαρμογή στα χρώματα υδατικής διασποράς (6).

1.2.2. Πιγμέντα

Τα πιγμέντα είναι ουσιαστικά η χρωστική δύναμη που δίνει το χρώμα στο τελικό προϊόν. Η βιομηχανία των χρωμάτων είναι η τεχνολογία της οικονομικής και επιτυχούς διασποράς των πιγμένων σε κάποιο φορέα. Τα πιγμέντα είναι κατηγορία χρωστικών ουσιών, που είναι αδιάλυτα σε πολυμερή και διαλύτες. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τη βαφή των πολυμερών υλικών, διότι έχουν μεγαλύτερη σταθερότητα στο φως. Προστίθενται σε αναλογία 0,001-5% κατά τη φάση επεξεργασίας τροποποίησης του πολυμερούς. Το είδος του πιγμένου μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με την προοριζόμενη χρήση του βερνικιού. Παλαιότερα χρησιμοποιούντο ευρέως πιγμέντα μολύβδου, όπως ο χρωμικός μολύβδος. Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται όλο και λιγότερο. Επίσης, τα αστάρια είναι δυνατόν να περιέχουν οξειδίο του μολύβδου (Pb_3O_4) ή ανθρακικό μολύβδο ($PbCO_3$) (3), (7).

Πίνακας 1: Αποχρώσεις πιγμέντων

Απόχρωση	Πιγμέντο
Λευκό	Διοξείδιο του τιτανίου (TiO ₂), οξειδίο του ψευδαργύρου (ZnO), λιθοπόνιο (ZnS+BaSO ₄), οξειδίο του αντιμονίου
Κόκκινο	Οξειδίο του σιδήρου, σεληνιούχο κάδμιο (CdSe), κόκκινου του μολύβδου
Κίτρινο	Θειούχο κάδμιο (CdS), ώχρα, χρωμικός Pb/Zn
Πράσινο	Οξείδια του χρωμίου (Cr ₂ O ₃)
Μπλε	Σιδηροκυανιούχος σίδηρος Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃
Καφέ	Σιένα
Πορτοκαλί	Άλατα μολύβδου, καδμίου, μολυβδενίου
Μεταλλικά	Αλουμίνιο (Al), ψευδάργυρος (Zn), μπρούτζος
Διαφανές	Ανθρακικό ασβέστιο, πυριτικό μαγνήσιο, θεικό βάριο
Μαύρο	Carbon black, lamp black (αιθάλη)

Πηγή: Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας 2007

Αντί των χρωστικών βαρέων μετάλλων, χρησιμοποιούνται σήμερα οργανικές χρωστικές οι οποίες κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες: ανθρακοκινόνες, βενζιμιδαζόλες, BONA, διαζωχρωστικές, δικετο – πορρολο – πυρρόλες (DPP), διοξαζίνες, ισοϊνδολινόνες, μονο – αζώαλατα, ναφθολικά, φθαλοκυανικά, κινακρινόνες (1), (2).

1.2.3. Διαλύτες

Οι διαλύτες (solvents) αποτελούν ένα από τα τρία σημαντικότερα σκέλη των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή επιχρισμάτων. Συνεισφέρουν στην ομογενοποίηση όλων των ετερογενών υλικών που συμμετέχουν στην παραγωγή επιχρισμάτων και χρωμάτων και στη δημιουργία ενιαίου ρευστού σώματος. Επιτρέπουν έτσι την εφαρμογή του επιχρίσματος σε μια επιφάνεια και τη δημιουργία του υμενίου (film). Προκύπτουν από την κλασματική απόσταξη και την περαιτέρω επεξεργασία του πετρελαίου (8).

Η κλασματική απόσταξη του πετρελαίου (της νάφθα) και η περαιτέρω χημική επεξεργασία των κλασμάτων με οξείδωση, υδρογόνωση, εστεροποίηση, εξουδετέρωση, ενυδάτωση κτλ, παρουσία καταλυτών στους αποστακτικούς πύργους (crackers) των χημικών διωλιστηρίων, οδηγεί στην παραγωγή μεγάλης σειράς οργανικών διαλυτών.

Το είδος του διαλύτη μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο συνδετικό μέσο και την επιθυμητή τελική εφαρμογή. Καλός διαλύτης θεωρείται αυτός που οδηγεί στην παραγωγή χαμηλού ιξώδους επικαλυπτικού. Χρησιμοποιείται πληθώρα διαλυτών όπως υδρογονάνθρακες, αλκοόλες, εστέρες, γλυκολικοί αιθέρες, κετόνες, ανάλογα με την εφαρμογή. Γενικά, η σύγχρονη τάση είναι η εγκατάλειψη των αρωματικών ή χλωριωμένων υδρογονανθράκων, προς όφελος των οξυγονούχων διαλυτών, όπως οι εστέρες (2).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνηθέστεροι διαλύτες που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά και ναυτιλιακά χρώματα:

Υδρογονάνθρακες: Αντιπροσωπευτικός εκπρόσωπος είναι το white spirit (νέφτι), μείγμα υδρογονανθράκων ($C_8 - C_{10}$), κυρίως παραφινικών, που αποστάζει στους $150 - 190\text{ }^{\circ}\text{C}$. Το τολουόλιο και το ξυλόλιο (μείγμα ορθο-, μετα-, παρα-) είναι αρωματικοί υδρογονάνθρακες και χρησιμοποιούνται αντί του εξαιρετικά τοξικού βενζολίου. Έχουν σημαντική κατανάλωση, ανάλογη με αυτή του white spirit. Το ξυλόλιο χρησιμοποιείται στην παραγωγή συνθετικών ρητινών.

Αλκοόλες: Αιθανόλη, ισοπροπανόλη, μεθανόλη, βουτανόλη (n-, ισο-). Από αυτές, κυρίως η αιθανόλη (οινόπνευμα) χρησιμοποιείται στη βιομηχανία μελανιών, χρωμάτων, βερνικιών. Παράγεται συνήθως από απόσταξη ή είναι συνθετική και διακινείται μετουσιωμένη. Μικρότερες ποσότητες ισοπροπανόλης, μεθανόλης και βουτανόλης χρησιμοποιούνται επίσης.

Εστέρες: Έχουν εξαιρετικές διαλυτικές ιδιότητες και γενικά μικρότερη τοξικότητα από τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Ο οξικός αιθυλεστέρας κυρίως, αλλά και ο οξικός βουτυλεστέρας, ο οξικός ισοβουτυλεστέρας και ο οξικός ισοπροπυλεστέρας χρησιμοποιούνται συνήθως.

Κετόνες: Διαλύτες με εξαιρετικές διαλυτικές ικανότητες. Σε μεγαλύτερες ποσότητες χρησιμοποιείται η μεθυλοκετόνη (ακετόνη ή ασετόνη). Η μεθυλοαιθυλοκετόνη χρησιμοποιείται στην παραγωγή βερνικοχρωμάτων. Επίσης, χρησιμοποιούνται η diacetone alcohol, η isophorone και η κυκλοεξανόνη.

Γλυκόλες: Μονοαιθυλενογλυκόλη, διαιθυλενογλυκόλη, προπυλενογλυκόλη, γνωστές για τις αντιψυκτικές τους ιδιότητες, είναι οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες. Η χημική τους δομή περιέχει δυο υδροξυλομάδες.

Γλυκοαιθέρες: Διαθέτουν μια ελεύθερη υδροξυλομάδα και μια αιθερική ομάδα. Χρησιμοποιείται κυρίως η μεθοξυπροπανόλη και η αιθοξυπροπανόλη.

Γλυκοαιθεροεστέρες: Προκύπτουν από την εστεροποίηση της ελεύθερης ομάδας υδροξυλίου των γλυκοαιθέρων. Έχουν ειδικές χρήσεις στις νιτροκυτταρινικές λάκες και τα χρώματα υδατικής διασποράς. Αντιπρόσωποι είναι ο οξικός μεθοξυπροπυλεστέρας, ο οξικός αιθοξυπροπυλεστέρας, ο οξικός βουτυλογλυκοεστέρας και ο οξικός βουτυλοδιγλυκοεστέρας.

1.2.4. Πρόσθετα

Κατά την παραγωγική διαδικασία παραγωγής χρωμάτων χρησιμοποιούνται διάφορα πρόσθετα. Ανάλογα με το σκοπό και την παραγωγική διεργασία που χρησιμοποιούνται, μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες (6).

Στεγνωτικά χρησιμοποιούνται στα οξειδωτικά στεγνούμενα λάδια και τις αλκυδικές ρητίνες, ελαττώνοντας με την καταλυτική τους δράση το χρόνο του στεγνώματος. Στους ίδιους τύπους χρωμάτων χρησιμοποιούνται και τα αντιπετσωτικά, με σκοπό την αποφυγή δημιουργίας μεμβράνης κατά την αποθήκευση του χρώματος.

Τα προϊόντα **antifouling** χρησιμοποιούνται στα χρώματα βαφής σκαφών, δηλαδή χρώματα που βρίσκονται σε επαφή με το θαλάσσιο νερό. Είναι τοξικές ενώσεις και σκοπό έχουν την αποφυγή ανάπτυξης μυκήτων, οστράκων κλπ.

Τα **μυκητοκτόνα και βακτηριδιοκτόνα** χρησιμοποιούνται για την αποφυγή ανάπτυξης των αντίστοιχων μικροοργανισμών, σε προϊόντα όπως τα πλαστικά χρώματα και τα επιχρίσματα ξύλου.

Οι **γαλακτωματοποιητές** χρησιμοποιούνται στα υδατικά επιχρίσματα γαλακτωμάτων για τη σταθεροποίηση της διασποράς. Μπορεί να είναι ανιονικοί ή μη ιονικοί.

Τα **αντιαφριστικά** χρησιμοποιούνται για την αποφυγή της δημιουργίας αφρού. Τέτοια τάση έχουν τόσο τα χρώματα οργανικών διαλυτών, αλλά πολύ περισσότερο τα υδατοδιαλυτά. Τα υλικά αυτά πρέπει να μην έχουν διαλυτότητα στο φορέα. Κατά συνέπεια, στα υδατικά χρώματα χρησιμοποιούνται αντιαφριστικά πετρελαιοειδούς βάσεως, ενώ στα χρώματα οργανικών διαλυτών, σιλικονούχα υλικά.

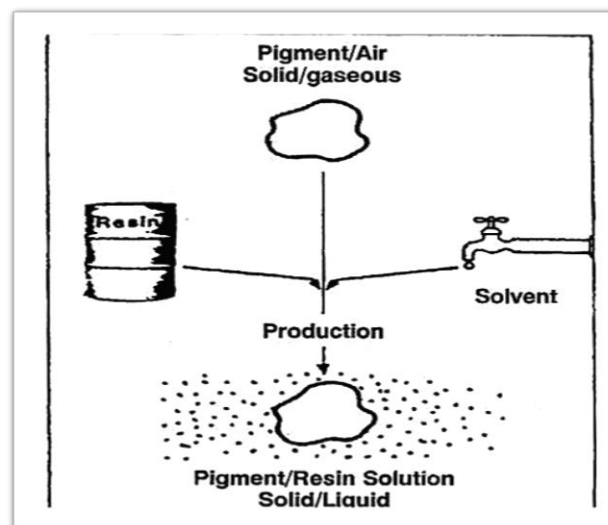
Οι υπεριώδεις ακτινοβολίες του ηλίου επιδρούν καταλυτικά στην οξειδωτική αποσύνθεση του συνδετικού φορέα (π.χ. συνθετικής ρητίνης). Οι **απορροφητές UV ακτινοβολίας**, έχουν ως σκοπό να ελαττώσουν την αποσύνθεση του χρώματος από την υπεριώδη ακτινοβολία.

Τα **ανασχετικά διάβρωσης** και τα **υλικά πρόσφυσης** σε συνθήκες υγρασίας, βοηθούν την εφαρμογή του χρώματος σε υγρή επιφάνεια και ταυτόχρονα, παρεμποδίζουν τη διάβρωση, π.χ. σε αποβάθρες πλοίων, σκαφών κ.λ.π.

Τα **πρόσθετα ρεολογίας** προστίθενται για να αποφεύγεται η καθίζηση των σωματιδίων των πιγμέντων στο έτοιμο χρώμα., που είναι μια από τις ανεπιθύμητες ιδιότητες ενός έτοιμου χρώματος. Η ταχύτητα καθίζησης ακολουθεί το νόμο του Stokes και εξαρτάται από το ειδικό βάρος των πιγμέντων, το ιξώδες και τη διάμετρο του κόκκου των πιγμέντων. Όσο πιο μικρόκοκκα είναι τα πιγμένα και πιο υψηλού ιξώδους ο φορέας, τόσο πιο δύσκολα τείνουν να καθιζήσουν. Η ανεπιθύμητη αυτή ιδιότητα αποφεύγεται με αύξηση του ιξώδους του συστήματος με πηκτικά υλικά και με καλή διασπορά των πιγμέντων με διασπορείς και διαβρέκτες (6 σ. 229).

Οι **διαβρέκτες** και οι **διασπορείς** έχουν πολύ σημαντικό ρόλο στην παραγωγή χρώματος. Όπως αναφέρθηκε, σημαντικότερο ρόλο στην παραγωγή του χρώματος έχει η επιτυχής διασπορά και σταθεροποίηση των σωματιδίων πιγμέντου και πληρωτικού υλικού. Η διασπορά ως διεργασία μπορεί να χωριστεί στη φάση της διαβροχής, του τριψίματος και της σταθεροποίησης. Έτσι, οι διαβρέκτες είναι τα υλικά που διαβρέχουν τα πιγμένα, ενώ οι διασπορείς τα υλικά που σταθεροποιούν τη διασπορά.

Οι ουσίες που χρησιμοποιούνται έχουν ένα υδρόφιλο και ένα υδρόφοβο τμήμα και κατατάσσονται με βάση τη φύση του υδρόφοβου τμήματος, σε ανιονικούς (λιπαρές αλκοόλες, αλκυδικά άλατα λιπαρών οξέων, βενζοϊκού ή ναφθενικού οξέος), κατιονικούς (άλατα λιπαρών αμινών, τεταρτοταγή άλατα αμμωνίου), ηλεκτροουδέτερους (συνδυασμοί των δυο προηγούμενων κατηγοριών, όπου και το ανιόν και το κατιόν είναι υδρόφοβα), αμφοτερικούς (αμινοξέα, μπεταΐνες) και μη ιονικούς (πολυαλκυλοαιθέρες).



Εικόνα 1: Βασικά συστατικά βιομηχανικού χρώματος

Πίνακας 2: Διάφορα πρόσθετα στη βιομηχανία χρωμάτων

Στεγνωτικά	Άλατα (σάπωνες) του Co, Pb, Ca, Mn, Zr, Zn, Sr, Ba, Ce, με λινελαϊκό, αβιετικό, ναφθενικό και οκταϊκό οξύ
Αντιπετσωτικά	Κετοξίμες, αλδοξίμες, αμίνες, αμινοφαινόλες, άλατα αμινών, αινόλη και παράγωγα, υδραζίνη και παράγωγα.
Προσθετικά antifouling	CuO, οργανικές ενώσεις Hg, ενώσεις τραλκυλικού Sn, ενώσεις Su και As
Μυκητοκτόνα-Βακτηριδιοκτόνα	ZnO, φαινυλοξικός Hg, φαινυλελαϊκός Hg, ενώσεις αλκυλοκασσιτέρου, χλωριωμένες φαινόλες, κ.α.
Γαλακτωματοποιητές	Άλατα ρητινικών, ναφθενικών οξέων, παράγωγα θεικών, σουλφονικών οξέων με αμμωνία, αμίνες, παράγωγα αιθυλενοξειδίου με λιπαρά οξέα, αλκοόλες, αλκυλοφαινόλες
Αντιαφριστικά	Ορυκτέλαια, παραφινέλαια με γαλακτωματοποιητές ή σιλικόνες, μείγματα διαλυτών και πολυσιλικονούχα παρασκευάσματα με υψηλό μοριακό βάρος
Απορροφητές ακτινοβολίας UV	Σαλικυλικό οξύ, κινναμωμικό οξύ, παράγωγα βενζολίου, βενζυλίου
Ανασχετικά διαβρώσεως και υγρασίας	Βενζοϊκό νάτριο, τριθειόνη, τεταρτοταγή άλατα αμμωνίας, νιτρώδη άλατα

Πηγή: Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας 2007

1.3. Παραγωγικές διαδικασίες

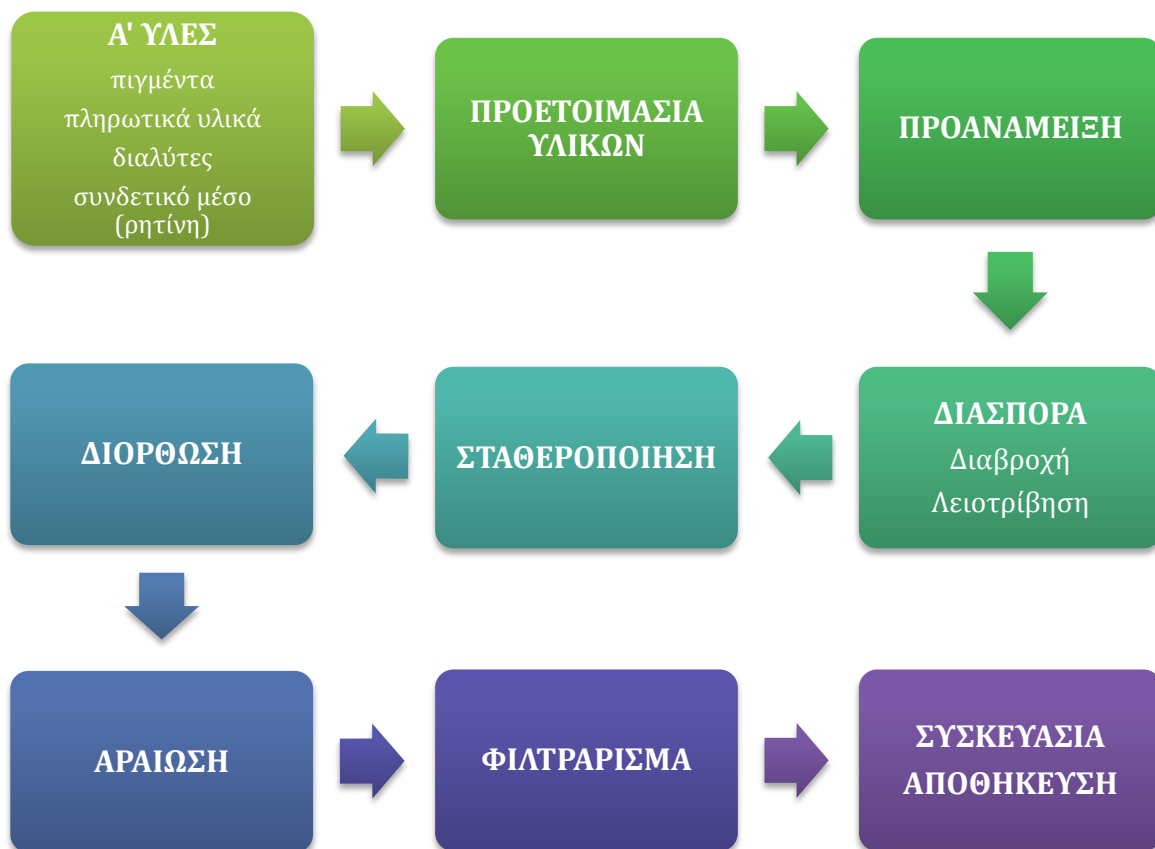
Τα χρώματα εξ ορισμού, αλλά και επί της ουσίας, αποτελούν μια διασπορά (dispersion) στερεών σωματιδίων σε υγρή φάση. Η ποιότητα της διασποράς αυτής εξασφαλίζει και την ποιότητα του χρώματος. Κατά συνέπεια, η διασπορά ως παραγωγική διεργασία αποτελεί τη διεργασία – κλειδί, τουλάχιστον για την ποιότητα του προϊόντος. Η επιτυχία της διασποράς και η ενέργεια που θα καταναλωθεί για την επίτευξή της, μαζί με το χρόνο που θα απαιτηθεί, αποτελούν τις βασικές παραμέτρους ποιότητας και παραγωγικότητας στη βιομηχανία χρωμάτων.

Τα πιγμέντα αποτελούν τη σημαντικότερη πρώτη ύλη στη βιομηχανία χρωμάτων. Επιτυχής διασπορά και σταθεροποίηση τους μας εξασφαλίζουν ένα σταθερό προϊόν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η διασπορά ως παραγωγική διεργασία συνεπάγεται τη διαβροχή των σωματιδίων πιγμέντου από το συνδετικό μέσο, το σπάσιμο διαφόρων συσσωματώσεων και τη σταθεροποίηση. Είναι φανερό ότι η καρδιά της όλης παραγωγικής διαδικασίας ενός χρώματος, είναι η λειοτρίβηση των χρωστικών (3).

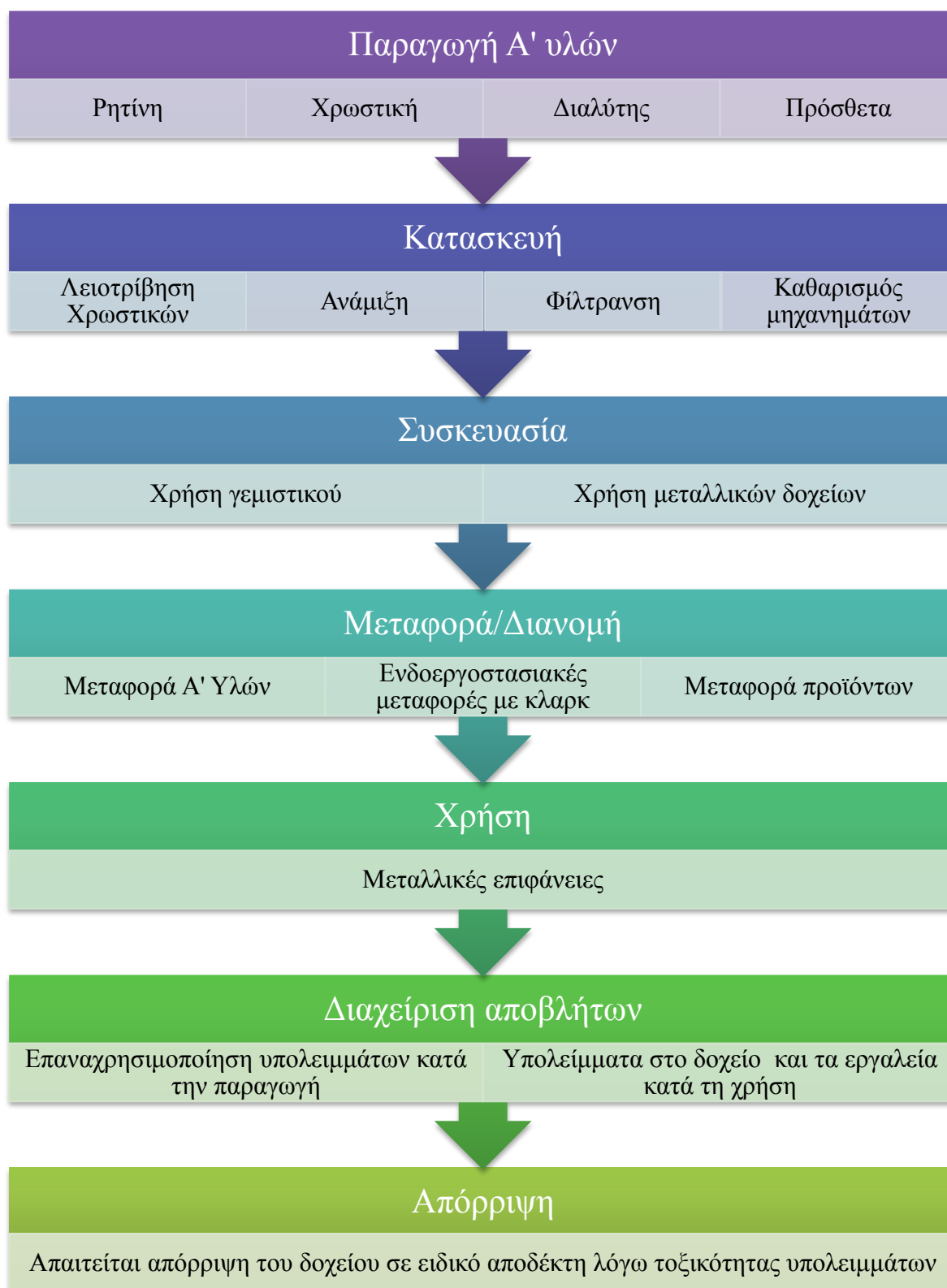
Αρχικά, πριν τη διασπορά, προετοιμάζονται οι πρώτες ύλες για την παραγωγή του χρώματος, δηλαδή ζυγίζονται, ογκομετρούνται και γίνεται η προανάμιξή τους. Στη συνέχεια, το σύνολο των πιγμένων και πληρωτικών υλικών φέρονται σε επαφή με μέρος του συνδετικού μέσου και του διαλύτη και προαναμιγνύονται σε έναν αναδευτήρα. Στη συνέχεια ακολουθεί η λειοτρίβηση της πάστας που προκύπτει από την προηγούμενη διεργασία, ώστε να επιτευχθεί η διασπορά των στερεών στην υγρή φάση. Κατά τη λειοτρίβηση δεν αλλάζει η βασική κοκκομετρία της αρχικής σκόνης.

Όταν ο ποιοτικός έλεγχος διαπιστώσει την πλήρη διασπορά των πιγμένων, ακολουθεί η σταθεροποίηση της πάστας με την προσθήκη του υπόλοιπου μέρους του φορέα. Ακολουθεί η διόρθωση της απόχρωσης με άλλο χρώμα ή με πάστες ή με λειοτρίβηση νέου πιγμένου και η τελική προσθήκη διαφόρων προσθέτων και βελτιωτικών, καθώς και η ρύθμιση του τελικού ιξώδους. Πριν τη συσκευασία, προηγείται φιλτράρισμα, όχι τόσο για τη διόρθωση ατελειών της λειοτρίβησης, αλλά για την απομάκρυνση κυρίως τυχόν ακαθαρσίες.

Πρέπει να τονιστεί ότι πολλές φορές είναι απαραίτητος ο καθαρισμός των δοχείων και των μηχανημάτων πριν την εισαγωγή της νέας παρτίδας (batch). Διάφορα καθαριστικά και εργαλεία χρησιμοποιούνται σε αυτό το στάδιο.



Διάγραμμα 1: Τυπικό διάγραμμα ροής παραγωγής χρωμάτων (41).



Διάγραμμα 2: Συγκεντρωτικό διάγραμμα κύκλου ζωής βιομηχανικού χρώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Βιομηχανικά και ναυτιλιακά χρώματα

Τα βιομηχανικά και ναυτιλιακά χρώματα, συγκαταλέγονται στην κατηγορία των επιστρώσεων για μέταλλα. Και οι δυο κατηγορίες, περιλαμβάνουν χρώματα οργανικών διαλυτών. Η διαφοροποίησή τους, έγκειται στις απαιτήσεις χρήσης τους και προκύπτει με τη χρήση διαφορετικών πρώτων υλών. Το κύριο συστατικό που επηρεάζει το τελικό χρώμα, είναι η ρητίνη και ως αποτέλεσμα αλλάζουν και οι χρησιμοποιούμενοι διαλύτες.

Για τα περισσότερα περιβάλλοντα, ένα απλό επίχρισμα φαίνεται ικανοποιητικό. Σε βιομηχανικό περιβάλλον όμως, στο οποίο συχνή είναι η έκθεση σε οξέα, αλκάλια, αλάτι, διαλύτες και έντονες καιρικές συνθήκες, η επιλογή των χρωμάτων περιορίζεται και εξειδικεύεται. Βεβαίως, μπορεί να υπάρξουν συνδυασμοί περιβαλλοντικών συνθηκών, με αποτέλεσμα να απαιτείται ένα σύνθετο σύστημα βαφής, το οποίο να περιλαμβάνει αστάρι, ενδιάμεσο στρώμα και τελικό επίστρωμα.

Αντίστοιχα, το θαλάσσιο περιβάλλον, περιλαμβάνει αρκετούς καταστροφικούς παράγοντες, όπως το αλατόνερο, τις συχνές εκπλύσεις, την ηλιακή ακτινοβολία και τη θαλάσσια ρύπανση, γνωστή και ως fouling. Τα τελευταία, συνοδεύονται με υψηλή υγρασία, χημική μόλυνση στα λιμάνια, μεγάλη εύρη διαφοράς θερμοκρασιών και μηχανικές καταπονήσεις. Λόγω αυτών των δυσμενών συνθηκών, τα ναυτιλιακά χρώματα, καλούνται να προστατεύσουν τα σκάφη, τις παράκτιες κατασκευές και τις λοιπές εγκαταστάσεις που τίθενται σε παρόμοιες συνθήκες. Έτσι, και περίπτωση των ναυτιλιακών εφαρμογών, κρίνεται απαραίτητη η επιλογή ενός ολοκληρωμένου συστήματος επιστρώσεων, το οποίο περιλαμβάνει αστάρια, αντισκωριακά ενδιάμεσα στρώματα και εξωτερικά επιστρώματα, προσθέτοντας όμως επιπλέον, αντιρρυπαντικά επιστρώματα (9).

2.1. Αστάρια μετάλλων

Τα αστάρια χρησιμοποιούνται κυρίως για να δημιουργήσουν ένα συνεκτικό δεσμό ανάμεσα στο υπόστρωμα και το ολοκληρωμένο σύστημα επίστρωσης. Πρέπει να παρουσιάζουν καλή πρόσφυση με το υπόστρωμα, ενώ παράλληλα να εμφανίζουν ελαστικότητα. Ακόμα, σημαντικό είναι να εξυπηρετούν στην πρόσφυση του επόμενου επιστρώματος. Όταν στο αστάρι περιέχονται κατάλληλες χρωστικές όπως ο ψευδάργυρος λ.χ., το αστάρι αποκτά και αντιδιαβρωτικές ιδιότητες. Τα αστάρι αποκτά με μια καθαρή επιφάνεια και μηχανική και χημική συνοχή, λόγω της ρητινώδους μήτρας του. Σωστή εκλογή διαλύτη, βελτιώνει την ικανότητα της επιφάνειας να διαβρέχεται και ισχυροποιεί το δεσμό συνοχής (9).

Πίνακας 3: Σύγκριση ασταριών βιομηχανικής χρήσης

Τύπος ασταριού και απαιτήσεις	Αλκυδικά	Μικτής ρητίνης	Όμοιας ρητίνης με τελικό επίστρωμα	Ανόργανου ψευδαργύρου
Συνοχή με το υπόστρωμα	Ικανοποιητική	Δεν παρουσιάζουν την ίδια συνοχή με τα αλκυδικά	Απαιτείται καλή προετοιμασία της επιφάνειας για να επιτευχθεί η σωστή συνοχή	Άριστη πρόσφυση με το υπόστρωμα
Πρόσφυση επόμενου επιστρώματος	Περιορισμός για βινυλικά, εποξειδικά και άλλα συνθετικά πολυμερή.	Κατασκευάζονται για συγκεκριμένο εξωτερικό επίστρωμα	Απαιτεί το μέγιστο χρόνο στεγνώματος προτού εφαρμοστεί το επόμενο επίστρωμα.	Συμβατά με την πλειοψηφία των εξωτερικών επιστρωμάτων
Αναστολή διάβρωσης	Περιορισμένη	Καλή αντοχή σε αλκαλικά περιβάλλοντα	Λειτουργεί ως αναστολέας διάβρωσης με προσθήκη κατάλληλων πυγμένων	Άριστη
Προστασία ως μοναδικό επίστρωμα	Περιορισμένη	Περιορισμένη	Περιορισμένη	Ικανοποιητική
Αντοχή σε χημική προσβολή	Τυπική για τα αλκυδικά	Χαμηλότερη απ' ότι ένα εξωτερικό επίστρωμα	Τυπική	Περιορισμένη σε πυκνά οξέα και αλκάλια

Πίνακας 4: Κοινά αστάρια ναυτιλιακής χρήσης

Shop-plate Primers	Ικανά να προσφύουν σε ψηγματοβολημένες επιφάνειες.
Wash Primers	Ικανά να προσφύουν σε πολύ λείες και μη πορώδεις επιφάνειες.
Weld-through Primers	Ικανά να αντέξουν στις συγκολλήσεις.
Αστάρια βασισμένα σε συγκεκριμένο φορέα	Βινύλιο, χλωριωμένο καουτσούκ, εποξειδικό, coal-tar.
Zinc-rich Primers	Βασισμένα σε οργανική ρητίνη και 85% w/w σκόνη ψευδαργύρου. Κύριες ρητίνες που χρησιμοποιούνται είναι βινυλικές, εποξειδικές, εποξειδικές πολυαμιδίου και χλωριωμένου λάστιχου. Για αντιδιαβρωτικές ιδιότητες, χρησιμοποιούνται ρητίνες στυρενίου, πολυεστέρων, ακρυλικές, ουρεθάνης και σιλικονούχες.
Διάφορα άλλα	Συνήθως από φαινολικές και αλκυδικές ρητίνες.

Πηγή: Guy E.Weismantel , «Paint Handbook»

2.2. Αντιδιαβρωτικά επιστρώματα

Τα αντιδιαβρωτικά επιστρώματα είναι ενδιάμεσα επιστρώματα, που συντελούν στη ρύθμιση του πάχους του συστήματος βαφής και λειτουργούν ως δεσμός ανάμεσα στο αστάρι και το εξωτερικό επίστρωμα. Αποτελούν ένα εμπόδιο ανάμεσα στην υγρασία (αλμύρα, αλατόνερο, γλυκό νερό) και στο μέταλλο. Η αποτελεσματικότητά τους σχετίζεται άμεσα με το πάχος του στρώματος (9). Για τα ναυτιλιακά χρώματα, σε συνθήκες βύθισης, η ηλεκτρολυτική αντίσταση παίζει σημαντικό ρόλο. Ακόμα το αντιδιαβρωτικό πρέπει να είναι συμβατό με την καθοδική προστασία και όταν χρησιμοποιείται με αντιρρυπαντικό που περιέχει χαλκό, πρέπει να κρατά απομονωμένο το χαλκό από το μεταλλικό υπόστρωμα (10).

2.3. Τελικά επιστρώματα

Τα τελικά επιστρώματα, επειδή είναι τα εξωτερικά επιστρώματα, λειτουργούν ως το αρχικό εμπόδιο του περιβάλλοντος με το μεταλλικό υπόστρωμα. Σε μερικές περιπτώσεις, το τελικό επίστρωμα, εξυπηρετεί στην τελική εμφάνιση ή αποκτά εξειδικευμένη λειτουργία για συγκεκριμένες εφαρμογές. Το συγκεκριμένο εμφανίζεται κατά κόρον στη ναυτιλία, που το τελικό επίστρωμα μπορεί να είναι αλκυδικό, χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ ή αντιρρυπαντικό χρώμα (9).

2.3.1. Αλκυδικά χρώματα

Η κατηγορία των αλκυδικών χρωμάτων περιλαμβάνει πολλούς διαφορετικούς τύπους χρωμάτων με διαφορετικές ιδιότητες. Χρησιμοποιούνται περισσότερο για διακοσμητικούς λόγους, κυρίως σε μέταλλα. Τα αλκυδικά χρώματα έχουν μακρά παράδοση σε συστήματα αντιδιαβρωτικής προστασίας και διατηρούν σε αρκετό βαθμό τη θέση τους έναντι νεότερων, πιο εξελιγμένων συστημάτων γι' αυτό και συχνά αποκαλούνται και συμβατικά χρώματα.

Χρώματα με «μικρό μήκος ελαίου» (χαμηλή περιεκτικότητα σε έλαιο - short oil) χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά χρώματα, όπως τα χρώματα φούρνου ή διάφορα αστάρια ή τελικά ταχυστέγνωτα βιομηχανικά χρώματα. Τα αλκυδικά χρώματα δεν χρησιμοποιούνται ποτέ σε χρήσεις κάτω από την επιφάνεια του νερού - σε εμβάπτιση - καθώς δεν έχουν επαρκή αντοχή σε διαρκή επαφή με το νερό ή υγρασία.

Τα αλκυδικά χρώματα παρουσιάζουν καλή διείδυση. Ξηραίνονται με οξείδωση, η οποία εμφανίζει διάφορα στάδια. Στην αρχή εξατμίζεται ο διαλύτης. Αργότερα αρχίζει η οξείδωση. Σε λίγες ώρες τελειώνει η πρώτη ξήρανση και ύστερα η οξείδωση συνεχίζεται για λίγες μέρες, κατά τις οποίες η σκληρότητα του χρώματος αυξάνει συνεχώς (11).

Συνοψίζοντας τις ιδιότητες των αλκυδικών χρωμάτων έχουμε τα εξής:

Πίνακας 5: Ιδιότητες αλκυδικών χρωμάτων

Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Καλή πρόσφυση και διείσδυση στην επιφάνεια	Ελλιπής χημική αντοχή, ιδιαίτερα σε αλκαλικά
Εύκολη συντήρηση χωρίς πολύπλοκες προεργασίες	Περιορισμένη αντοχή στο νερό. Ανθεκτικά σε συνήθεις συνθήκες εξωτερικής υγρασίας, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω από το νερό ή σε συνθήκες υψηλής υγρασίας.
Εύκολες διορθώσεις λεπτομερειών κατά την εφαρμογή	Περιορισμένη αντοχή σε διαλύτες. "Φουσκώνουν" σε επαφή με ισχυρούς διαλύτες όπως η ξυλόλη, οι κετόνες, οι αλκοόλες και οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες. Δεν πρέπει να επαναβάφονται με χρώματα που περιέχουν τέτοιους διαλύτες.
Προϊόν ενός συστατικού, εύκολο στη χρήση	Δεν χρησιμοποιούνται με αστάρια ψευδαργύρου (κίνδυνος σαπυνοποίησης)
Υψηλή στιλπνότητα και σταθερότητα χρώματος	Το πάχος εφαρμογής περιορίζεται σε 30-50 μικρά, το πολύ 80 μικρά για συγκεκριμένους τύπους.
Αρκετά καλή εξωτερική αντοχή	
Εύκολη εφαρμογή με βούρτσα, πιστόλι ή ρολό	
Καλή διαβροχή και καλό στρώσιμο	

Πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος

2.3.2. Χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ

Τα χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ, κατασκευάζονται από ρητίνη που προκύπτει με χλωρίωση φυσικού λάστιχου (καουτσούκ). Στις περισσότερες των περιπτώσεων, η χλωριωμένη ρητίνη συνδυάζεται με αλκυδική για την παρασκευή προστατευτικών επιστρωμάτων (9). Τα χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ (ΧΚ) έχουν ισχυρή σφράγιση (barrier) χημικές αντοχές, εξωτερική αντοχή και καλή αντοχή στην τριβή και την πρόσκρουση.

Όπως όλα τα χρώματα φυσικής ξήρανσης, είναι δυνατό να επαναδιαλυτοποιηθούν. Αυτό έχει ως πλεονέκτημα την ευελιξία στην επαναβαφή, με μειονέκτημα την έλλειψη αντοχής στους περισσότερους διαλύτες. Το φιλμ μπορεί να καταστραφεί με την επαφή του με κάποιο διαλύτη, ενώ υπάρχει πάντα και το ενδεχόμενο της παγίδευσης του διαλύτη μέσα στη στρώση του χρώματος. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα κατά την επαναβαφή ενός συστήματος χλωριωμένου καουτσούκ σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα συστήματα ΧΚ έχουν πολύ καλή αντοχή στο νερό, ενώ είναι αρκετά ανθεκτικά στα οξέα, τα αλκάλια, και τα περισσότερα διαβρωτικά χημικά. Εντούτοις, η αντοχή τους σε φυτικά και ζωικά έλαια είναι περιορισμένη.

Λόγω του μεγάλου μοριακού βάρους των ρητινών τους, τα χρώματα ΧΚ απαιτούν μεγάλες ποσότητες ισχυρών διαλυτών για να διατηρούν το χρώμα στην υγρή φάση κατά την εφαρμογή. Εξάλλου, λόγω της περιορισμένης τους διαβροχής, απαιτούν προεργασία της επιφάνειας με αμμοβολή κατά το πρότυπο Sa 2 1/2. Εναλλακτικά, εφαρμόζονται επάνω σε προσωρινό αστάρι (shopprimer) όταν αυτό είναι σε άριστη κατάσταση.

Γενικά τα χρώματα ΧΚ δεν αντέχουν σε μακροχρόνια έκθεση σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 70 °C, αφού προκαλείται χημική αποσύνθεση του χρώματος, με δημιουργία υδροχλωρικού οξέος ως κύριο παραπροϊόν της αντίδρασης (11).

2.3.3. Αντιρρυπαντικά χρώματα (antifouling)

Η ανάπτυξη όλων των θαλάσσιων οργανισμών σε επιφάνειες προκαλεί μια σειρά προβλημάτων. Ο μόνος τρόπος προστασίας αυτών των επιφανειών είναι να καταστούν ακατάλληλες προς αποικισμό. Αυτό επιτυγχάνεται με την επίστρωσή τους με ειδικά χρώματα τα οποία περιέχουν και απελευθερώνουν στο νερό βιοκτόνες ουσίες. Τα χρώματα αυτά είναι γνωστά ως υφαλοχρώματα ή αντιαποθετικά χρώματα (antifouling paints) και ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το συστατικό που αποτελεί τη βάση του χρώματος (μήτρα) και τον μηχανισμό απελευθέρωσης της βιοκτόνου ουσίας στο περιβάλλον (12).

Συμβατικά υφαλοχρώματα (conventional paints, Free Association Paints, FAP)

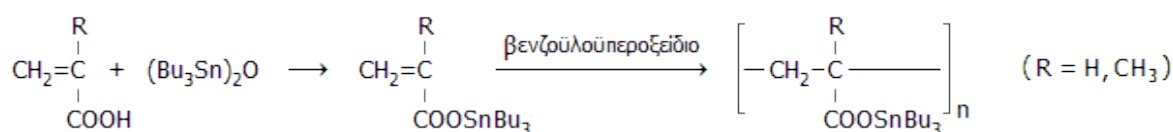
Η βάση των υφαλοχρωμάτων αυτών είναι συνήθως μια υδατοδιαλυτή ρητίνη στην οποία διασπείρεται η τοξική ουσία. Εξαιτίας της μη χημικής σύζευξης τοξικής ουσίας και ρητίνης, η πρώτη διαφεύγει ελευθέρως στο περιβάλλον με ρυθμό απελευθέρωσης μειούμενο εκθετικά με το χρόνο. Αρχικά η συγκέντρωση της τοξικής ουσίας είναι πολύ μεγάλη, όμως σύντομα μειώνεται, ελαττώνοντας τη δραστικότητα του υφαλοχρώματος. Η διάρκεια αποτελεσματικής δράσης αυτής της κατηγορίας υφαλοχρωμάτων είναι από 6 έως 12 μήνες (12).

Υφαλοχρώματα μακράς διάρκειας (long-life paints)

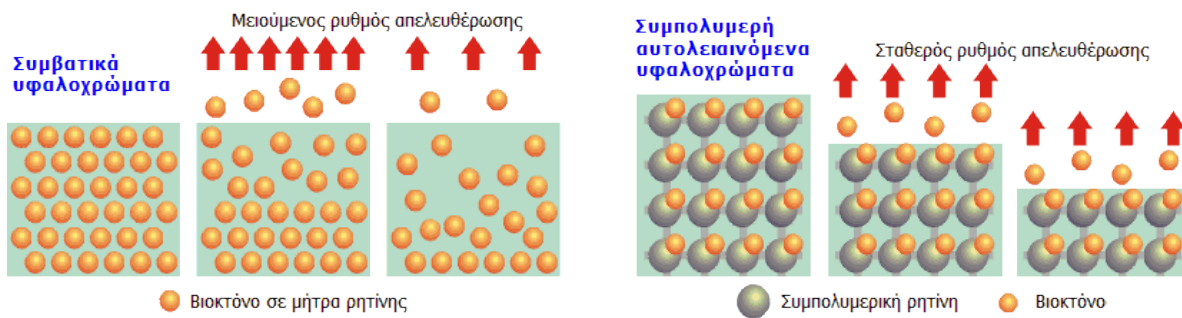
Η μήτρα του υφαλοχρωμάτων αυτών είναι αδιάλυτη στο νερό με αποτέλεσμα η τοξική ουσία να διαχέεται στη διεπιφάνεια χρώματος - νερού, μέσω διαύλων που δημιουργούνται στη μήτρα. Οι διάυλοι αυτοί δεν είναι σταθεροί αλλά μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού απελευθέρωσης του βιοκτόνου στο περιβάλλον. Η δραστική ουσία μετά την παρέλευση 18-24 μηνών, ουσιαστικά εγκλωβίζεται στη μήτρα του χρώματος με αποτέλεσμα τη μείωση της δραστικότητας του υφαλοχρώματος (12).

Συμπολυμερή αυτολειαινόμενα υφαλοχρώματα (Shelf-Polishing Copolymer Paints)

Στα υφαλοχρώματα αυτά, το βιοκτόνο προσδένεται χημικά στο πολυμερές υπόστρωμα. Η επόμενη αντίδραση αποτελεί τυπικό παράδειγμα εισαγωγής οργανοκασσιτερικής ομάδας σε ακρυλικό πολυμερές:



Το βιοκτόνο απελευθερώνεται στο περιβάλλον κατά την υδρόλυση του χημικού δεσμού βιοκτόνου-υποστρώματος. Έτσι, οι οργανισμοί εκτίθενται σε μια συνεχώς ανανεούμενη τοξική επιφάνεια, η οποία παρεμποδίζει την προσκόλλησή τους. Ο ρυθμός απελευθέρωσης του βιοκτόνου είναι σταθερός, η διάρκεια της αποτελεσματικής δράσης του υφαλοχρώματος είναι ανάλογη του πάχους του στρώματός του και συνήθως κυμαίνεται από 4 έως 5 έτη (12).



Εικόνα 2: Μηχανισμός λειτουργίας βιοκτόνου (12)

Τα σημερινά αντιρρυπαντικά επιστρώματα χρησιμοποιούν δύο γενικούς μηχανισμούς έκλυσης, που εξαρτώνται από το αν η επιλεγόμενη ρητίνη είναι διαλυτή ή αδιάλυτη. Ο τύπος της αδιάλυτης μήτρας αφήνει ένα ρητινώδη σκελετό καθώς τα τοξικά μέρη διαλύονται στο θαλασσόνερο. Ονομάζεται μήτρα επαφής, επειδή εξαρτάται από τη μετανάστευση του τοξικού στην επιφάνεια και τη διάλυσή του με την επαφή με το νερό. Από τότε που οι ρητίνες είναι κατά κάποιο διαπερατές στο νερό, τα τοξικά μέρη μπορεί να διαχυθούν διαμέσου του ημιδιαπερατού επιστρώματος και καθώς ένα μέρος διαλύεται, ένα άλλο να εκτίθεται στο θαλασσόνερο. Ο τύπος της μήτρας επαφής περιέχει περισσότερα τοξικά από τις διαλυτές ρητίνες. Τα παχύτερα στρώματα έχουν ως αποτέλεσμα μια μακρόχρονη επιβίωση του αντιρρυπαντικού τελικού επιστρώματος (10).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συστατικά χαρακτηριστικού αντιρρυπαντικού:

Πίνακας 6: Χαρακτηριστική συνταγή Coal-Tar¹

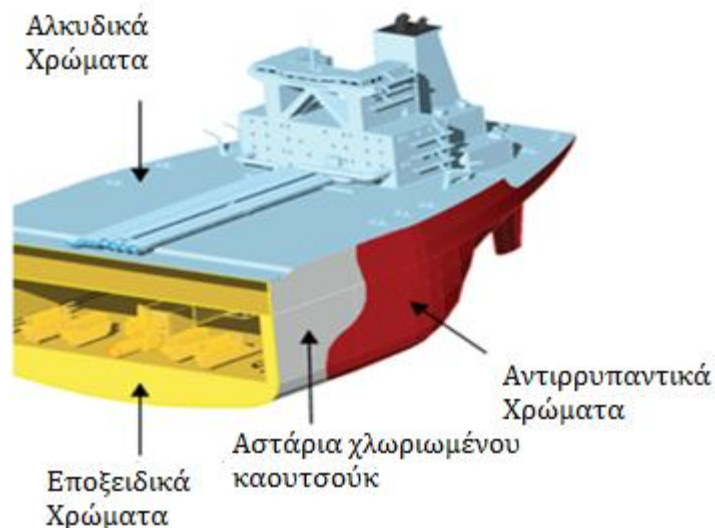
Αντιρρυπαντικό Επίστρωμα Coal-Tar	% w/w
CuO ₂	42.5
Βιοκτόνο	2.1
ZnO (χωρίς μόλυβδο)	21.0
FeO	8.0
MgSi	8.0
Κολοφώνιο	26.5
Coal Tar (80% μη πτητικό)	8.0
Σύνολο	100.0

Πηγή: Guy E. Weismantel , «Paint Handbook»

¹ Προστίθεται όσος διαλύτης κρίνεται απαραίτητος

Η λειτουργία του αντιρρυπαντικού επιστρώματος εξαρτάται από την εκπομπή της τοξικής ουσίας που είναι διαλυτή στο θαλασσόνερο. Αν ο ρυθμός έκλυσης είναι υψηλός, η αποτελεσματικότητα του αντιρρυπαντικού θα είναι βραχύχρονη. Αν ο ρυθμός έκλυσης είναι πολύ χαμηλός, το επίστρωμα θα είναι αναποτελεσματικό. Ο ρυθμός αυτός εξαρτάται από τα τοξικά. Για παράδειγμα, για το οξείδιο του χαλκού, που είναι το πιο συνηθισμένο, ένας αποτελεσματικός ρυθμός έκλυσης είναι 10μg ανά 1cm² τη μέρα. Παλιότερες μογιές που χρησιμοποιούσαν υδράργυρο, απαιτούσαν ρυθμό έκλυσης 2μg/cm²/ημέρα, λόγω της μεγάλης τοξικότητας του υδραργύρου.

Υπάρχουν βέβαια κι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό έκλυσης, όπως η θερμοκρασία, η αλμυρότητα και το pH του αλατόνερου. Επίσης, η ταχύτητα του ρεύματος ροής, το είδος του ασταριού και ο χρόνος ζωής του αντιδιαβρωτικού συστήματος. Ακόμα, η επίδραση της βλέννας και το πάχος του στεγνού στρώματος. Ως παράδειγμα της σημασίας αυτών των παραγόντων, αναφέρουμε ότι μισός βαθμός Κελσίου, μπορεί να προκαλέσει μεταβολή στο ρυθμό έκλυσης ως και 5%. Αυτό εξηγεί την παταγώδη αποτυχία των χρωμάτων στα τροπικά νερά, καθώς αυξάνεται επιταχυνόμενα ο ρυθμός έκλυσης στα θερμότερα νερά. Ακόμα, στα ταχύπλοα πλοία, λόγω της υψηλής ταχύτητας, το επίστρωμα καταστρέφεται πολύ γρήγορα αν σε αυτό δεν έχουν προστεθεί σκληρυντικά (10).



Εικόνα 3: Χρήση διαφορετικών επιστρωμάτων στα διάφορα μέρη του πλοίου (36)

Πίνακας 7: Σύστημα επιστρώματων για διαφορετικά μέρη του πλοίου

Μέρος πλοίου	Απαιτήσεις συστήματος χρώματος	Σύστημα χρώματος	Παρατηρήσεις
Ύφαλα	Προστασία από διάβρωση Υδατοστεγές Αντοχή σε τριβή Αντιρρυπαντικό Λείο Συμβατό με καθοδική προστασία	Αντιδιαβρωτικά με βάση Coal Tar Epoxy ($\geq 250\mu\text{m}$) Πίσσα πολουρεθάνης ($\geq 250\mu\text{m}$) Βινυλική πίσσα ($\geq 200\mu\text{m}$) Χλωριωμένο λάστιχο ($\geq 200\mu\text{m}$) Συμπολυμερή βινυλίου ($\geq 200\mu\text{m}$) + 2 στρώματα αντιρρυπαντικό ή μήτρα επαφής ή αυτολειαινόμενο	Σε μέρη του πλοίου όπου απαιτείται μεγάλη αντοχή σε τριβή, τα ύφαλα επικαλύπτονται με πολύ παχιά στρώματα (glass flake).
Ίσαλος ζώνη	Αντιδιαβρωτικό Υδατοστεγές Αντοχή σε κλιματολογικές συνθήκες Αντοχή σε κρούση Αντοχή σε τριβή Λείο Εύκολο στο καθάρισμα Αντοχή σε λάδια Καταστροφή φυκιών Συμβατό με καθοδική προστασία	Αντιδιαβρωτικά χρώματα υψηλών προδιαγραφών + 1-2 στρώσεις χρώματος long-life με ρητίνη πολουρεθάνης, χλωριωμένου λάστιχου ή συμπολυμερούς βινυλίου. Συνηθίζεται παρόμοια προστασία ισάλου ζώνης με υφάλων, με το επιφανειακό επίστρωμα αντιρρυπαντικού χρώματος.	Τα συστήματα από χλωριωμένο λάστιχο δεν έχουν αντοχή σε λάδια. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ασφαλτική πίσσα στα αντιδιαβρωτικά όταν η ίσαλος ζώνη είναι ανοιχτό χρώμα.
Έξαλα	Αντιδιαβρωτικά Αντοχή σε κλιματολογικές συνθήκες Αντοχή σε τριβή Αντοχή σε κρούση Εύκολο στο καθάρισμα Διακοσμητικό	Εποξειδική ρητίνη ($\geq 200\mu\text{m}$) Ρητίνη πολουρεθάνης ($\geq 200\mu\text{m}$) Χλωριωμένο λάστιχο ($\geq 200\mu\text{m}$) Συμπολυμερή βινυλίου ($\geq 200\mu\text{m}$) Αλκυδικές ρητίνες με επεξεργασμένα λάδια ($\geq 140\mu\text{m}$)	Το επιφανειακό επίστρωμα ενός συστήματος χρώματος με αρκετό πάχος, δεν είναι αντίστοιχα παχύ ώστε να είναι λείο, άρα εύκολο να καθαριστεί.
Weather Decks	Αντιδιαβρωτικά Αντοχή σε κλιματολογικές συνθήκες Αντοχή σε τριβή Αντοχή σε κρούση Αντιολισθητικό Αντίσταση σε νερό, λάδια, λιπαντικά, απορρυπαντικά	Εποξειδική ρητίνη ($\geq 200\mu\text{m}$) Ρητίνη πολουρεθάνης ($\geq 200\mu\text{m}$) Χλωριωμένο λάστιχο ($\geq 200\mu\text{m}$) Πυριτικό ψευδάργυρο (75-120 μm) Αλκυδική ρητίνη ($\geq 140\mu\text{m}$) Το εξωτερικό επίστρωμα είναι αντιολισθητικό χρώμα.	Τα καταστρώματα των δεξαμενόπλοιων για χημικά προϊόντα και διαλυτικά θα πρέπει να έχουν επίστρωση από εποξειδική ρητίνη, πολουρεθάνη ή πυριτικό ψευδάργυρο.
Αποθήκες ξηρού φορτίου	Αντιδιαβρωτικό Αντοχή σε χρήση Αντοχή σε κρούση Να μην ξεφλουδίζει Έγκριση για μεταφορά υλικών κατανάλωσης	Συστήματα με βάση Coal Tar Epoxy (εποξειδικό με πίσσα, $\geq 200\mu\text{m}$) Πίσσα πολουρεθάνης ($\geq 200\mu\text{m}$) Εποξειδική ρητίνη ($\geq 200\mu\text{m}$) Ρητίνη πολουρεθάνης ($\geq 200\mu\text{m}$) Πυριτικός ψευδάργυρος (75-200 μm)	Για μεταφορά ορυκτών, κάρβουνου και σκραπ, προτείνονται συστήματα υψηλής απαίτησης. Για υλικά κατανάλωσης απαιτείται επίσημη έγκριση.

Πηγή: Guy E.Weismantel , «Paint Handbook»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αλκυδικές ρητίνες οργανικού διαλύτου

Οι αλκυδικές ρητίνες είναι με μεγάλη διαφορά οι πλέον χρησιμοποιούμενες από τις μη υδατοφερόμενες ρητίνες στα χρώματα, βερνίκια και λοιπά επιχρίσματα. Η ανάλυσή τους κρίνεται απαραίτητη, μιας και αποτελούν την κυριότερη πρώτη ύλη των βιομηχανικών και ναυτιλιακών χρωμάτων. Οι ιδιότητες των αλκυδικών ρητινών, συντελούν στην αποτίμηση των ιδιοτήτων των τελικών χρωμάτων.

Το κόστος των αλκυδικών ρητινών είναι αρκετά χαμηλό σε σύγκριση με άλλα πολυμερή. Είναι διαλυτές σε φθηνούς διαλύτες (white spirit, ξυλόλη, τολουόλη). Είναι συμβατές με τα περισσότερα πιγμέντα και πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία χρωμάτων, καθώς και με πολλές άλλες ρητίνες. Τα χρώματα αλκυδικής βάσεως εφαρμόζονται εύκολα, χωρίς ιδιαίτερη προετοιμασία της επιφάνειας. Έχουν καλή πρόσφυση πάνω σε παλαιότερα στρώματα χρωμάτων, είναι αρκετά ανεκτικά σε τυχόν σφάλματα και δεν απαιτούν ιδιαίτερες γνώσεις για την εφαρμογή τους.

3.1. Κατάταξη αλκυδικών ρητινών

Οι αλκυδικές ρητίνες σαν πολυμερή κατατάσσονται στους πολυεστέρες. Είναι προϊόντα πολυσυμπύκνωσης διβασικών οξέων, κατά κύριο λόγο φθαλικού οξέος ή ανυδρίτη, με πολυαλκοόλες, μαζί με λάδια – τριγλυκερίδια ή λιπαρά οξέα που προέρχονται από τέτοια λάδια.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί κανείς να κατατάξει τις αλκυδικές ρητίνες. Η πιο συνηθισμένη κατάταξη είναι με βάση το λεγόμενο μήκος λαδιού (oil length). Με αυτό το όνομα έχει επικρατήσει να λέγεται το ποσοστό του λαδιού κατά βάρος της στερεάς, (μη πτητικής) ρητίνης. Στις ρητίνες που παράγονται από λιπαρά οξέα, για τον υπολογισμό του μήκους λαδιού, λαμβάνεται υπόψη το ποσοστό του αντίστοιχου τριγλυκεριδίου. Έτσι, με βάση το μήκος λαδιού, η κατάταξη είναι:

- Μεγάλου μήκους (long oil) = περιεκτικότητα λαδιού > 55%
- Μέσου μήκους (medium oil) = περιεκτικότητα λαδιού 45 -55 %
- Μικρού μήκους (short oil) = περιεκτικότητα λαδιού < 45 %

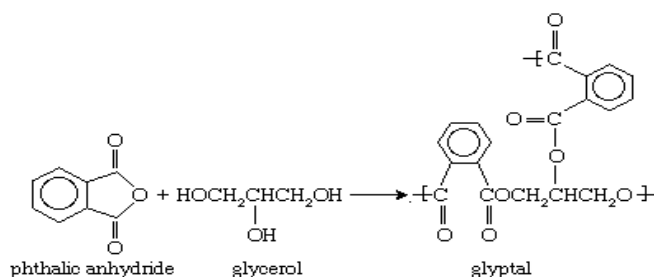
Μια άλλη συνηθισμένη κατάταξη των αλκυδικών ρητινών είναι με βάση το είδος του χρησιμοποιούμενου λαδιού:

- Ξηραϊνόμενες ρητίνες, που περιέχουν λάδια ή λιπαρά οξέα ξηραϊνόμενα (οξειδούμενα), δηλαδή ακόρεστα.
- Μη ξηραϊνόμενες ρητίνες, που περιέχουν λάδια ή λιπαρά οξέα μη ξηραϊνόμενα (μη οξειδούμενα), δηλαδή κεκορεσμένα.

Συνήθως χρησιμοποιούνται και οι δύο τρόποι κατάταξης, καθ' ότι στην πράξη οι ξηραϊνόμενες ρητίνες είναι μεγάλου ή μέσου μήκους λαδιού, ενώ οι μη ξηραϊνόμενες είναι μικρού μήκους. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος λαδιού, τόσο οι ιδιότητες της ρητίνης πλησιάζουν τις ιδιότητες του λαδιού: το ιξώδες είναι χαμηλότερο, η διαλυτότητα σε αλειφατικούς διαλύτες μεγαλύτερη, καθώς και η ελαστικότητα και η ευκολία βαφής με πινέλο. Αντίθετα, όσο μικρότερο είναι το μήκος λαδιού, τόσο οι ιδιότητες πλησιάζουν αυτές του πολυεστέρα, δηλαδή είναι μεγαλύτερη η σκληρότητα, η ταχύτητα ξήρανσης, η αντοχή στο χρόνο, κτλ. (4).

3.2. Παραγωγή αλκυδικών ρητινών

Η παραγωγή αλκυδικών ρητινών βασίζεται στην αντίδραση εστεροποίησης (batch) των οργανικών οξέων ή ανυδριτών αυτών, με αλκοόλες στους 200°C με συμμετοχή φυτικών ελαίων. Οι αλκοόλες και τα οργανικά οξέα και έλαια, θερμαινόμενα αντιδρούν μεταξύ τους προς παραγωγή του αντίστοιχου εστέρα και ταυτόχρονη αποβολή νερού (παραπροϊόν). Πρώτη ύλη για την παραγωγή αλκυδικών ρητινών είναι τα λιπαρά οξέα (fatty acids) που προέρχονται από λάδια (σογιέλαιο κτλ) και είτε είναι φυσικά προϊόντα (π.χ. ταλλέλαιο) είτε συνθετικά. Επειδή τα λιπαρά οξέα προσβάλλουν το σίδηρο, απαιτούνται ειδικές δεξαμενές και ανοξείδωτα βαρέλια, γαλβανισμένα ή κατάλληλα βαμμένα εσωτερικά. Τα λιπαρά οξέα προστίθενται μαζί με όλα τα άλλα υλικά στον αντιδραστήρα και ξεκινά αμέσως η αντίδραση εστεροποίησης – πολυμερισμού. Τα καρβονύλια τόσο των λιπαρών οξέων όσο και των πολυβασικών οξέων αντιδρούν σε αντίδραση εστεροποίησης με τα υδροξύλια των μονο- και διγλυκεριδίων, καθώς και των πολυαλκοολών. Με αυτό τον τρόπο σχηματίζεται το πολυμερές.



Εικόνα 4: Αντίδραση εστεροποίησης φθαλικού ανυδρίτη με γλυκερόλη, προς παραγωγή αλκυδικού (13)

Υπάρχουν δυο μέθοδοι για την αντίδραση πολυσυμπύκνωσης:

Μέθοδος τήξεως: Τα υλικά θερμαίνονται όλα μαζί στον αντιδραστήρα σε θερμοκρασία 180-260 °C. Το νερό που παράγεται από την αντίδραση απομακρύνεται με εξάτμιση. Παράλληλα σχηματίζονται και ορισμένα πτητικά συστατικά, όπως η γλυκερίνη.

Μέθοδος αζεοτρόπου: Στον αντιδραστήρα, μαζί με τα υλικά, προστίθεται και μικρή ποσότητα ξυλόλης, η οποία σχηματίζει αζεότροπο με το νερό της αντίδρασης. Αυτό εξατμίζεται, ψύχεται σε οριζόντιο ψυκτήρα, συλλέγεται σε διαχωριστήρα, όπου διαχωρίζεται το νερό, ενώ η ξυλόλη μαζί με τυχόν συμπαρασυρόμενα υλικά, ανακυκλώνεται. Στο τέλος της αντίδρασης η ξυλόλη απομακρύνεται.

Όταν επιτευχθεί το ζητούμενο ιξώδες, η ρητίνη ψύχεται σε θερμοκρασία κάτω των 180°C και αραιώνεται με τα κατάλληλα διαλυτικά στην απαιτούμενη περιεκτικότητα μη πτητικών, εκτός αν πρόκειται να διατεθεί σε στερεά μορφή. Μετά τον ποιοτικό έλεγχο και τις τελικές ρυθμίσεις, η ρητίνη φιλτράρεται και συσκευάζεται σε βαρέλια ή βυτία.

Πίνακας 8: Συστατικά αλκυδικής ρητίνης

Α' υλες	Ονομασία	Μορφή	Διακίνηση
Έλαια & Λιπαρά οξέα	Λινέλαιο Σογιέλαιο Κραμβέλαιο Ταλλέλαιο	Υγρό Υγρό Υγρό Υγρό	Βαρέλια Βυτία Βαρέλια Βαρέλια
Οργανικά οξέα & Ανυδρίτες	Φθαλικός ανυδρίτης Βενζοϊκό οξύ Μαλεϊκός ανυδρίτης	Στερεός Στερεό Στερεός	Σάκοι
Αλκοόλες	Γλυκερίνη Τριμεθυλοπροπάνιο Πενταερυθριτόλη	Υγρή Στερεό Στερεή	Βαρέλια Σάκοι Σάκοι
Γλυκόλες	Προπυλενογλυκόλη Μονοαιθυλενογλυκόλη Διαιθυλενογλυκόλη	Υγρή Υγρή Υγρή	Δεξαμενόπλοια
Διαλύτες	White spirit Τολουόλη Ξυλόλη Οξικοί εστέρας	Υγρό Υγρή Υγρή Υγρή	Δεξαμενόπλοια

Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Περιβάλλον», Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Τμήμα Βιομηχανιών, «Η οδηγία 96/61/EC για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (IPPC) και οι ελληνικές προτάσεις για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές», Χημικές Βιομηχανίες, Αθήνα 2001

3.3. Ιδιότητες αλκυδικών ρητινών

3.3.1. Ιξώδες

Το ιξώδες είναι ίσως η βασικότερη ιδιότητα των ρητινών. Οι περισσότερες αλκυδικές ρητίνες και τα διαλύματά τους συμπεριφέρονται σχεδόν σαν Νευτώνεια ρευστά.

Το ιξώδες μιας ρητίνης είναι συνάρτηση:

- Της θερμοκρασίας. Συνήθως μετράται σε 20 ή 25 °C αλλά τελευταία έχει αρχίσει να καθιερώνεται η θερμοκρασία των 23 °C. Πάντως η θερμοκρασία πρέπει να καθορίζεται σαφώς στις προδιαγραφές.
- Της περιεκτικότητας του διαλύματος σε στερεά (μη πτητικά).
- Του διαλύτη που χρησιμοποιείται.
- Του μεγέθους του μορίου, δηλαδή του βαθμού πολυμερισμού, του πλήθους και της διάταξης στο χώρο των διακλαδώσεων του πολυμερούς και της περιεκτικότητας σε λάδι.

Από τους παραπάνω παράγοντες εξαρτάται και η μεταβολή του ιξώδους συναρτήσει της περιεκτικότητας. Αν εξετάσουμε δυο ρητίνες φαινομενικά όμοιες, με ίδιο ιξώδες και με στερεά 70%, και τις αραιώσουμε με τον ίδιο διαλύτη, καταλήγοντας σε στερεά 50% ή 40%, είναι πιθανό οι δυο ρητίνες να έχουν πολύ διαφορετικό ιξώδες.

Ακόμα και από χώρα σε χώρα, όταν η ίδια ρητίνη αραιώνεται με white spirit, τυχάνει να παρουσιάζει σημαντικές διαφορές ιξώδους, επειδή το white spirit έχει διαφορετική σύνθεση κατά τόπους, κυρίως διαφορετική περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

Μια ρητίνη, ανάλογα με τις εφαρμογές της, πρέπει να έχει και το κατάλληλο ιξώδες. Υψηλό ιξώδες δίνει αντίστοιχα και υψηλό ιξώδες στο παρασκευαζόμενο προϊόν (χρώμα, βερνίκι, μελάνι). Χαμηλό ιξώδες επιτρέπει τη χρήση μικρότερης ποσότητας διαλυτών, όπως στις περιπτώσεις παραγωγής προϊόντων υψηλής περιεκτικότητας στερεών (high solids). Το χαμηλό ιξώδες μια ρητίνης επίσης, επιτρέπει τη χρήση μεγαλύτερης ποσότητας πιγμέντων, άρα και παραγωγή χρώματος με μεγαλύτερη καλυπτικότητα ή πληρωτικών υλικών, δηλαδή παραγωγή χρώματος με χαμηλότερο κόστος. Επίσης, οι ρητίνες με χαμηλό ιξώδες, έχουν κατά κανόνα καλύτερη διαβροχή πιγμέντων (4 σσ. 121-122).

3.3.2. Αριθμός οξέων (Οξύτητα)

Η οξύτητα παρακολουθείται κυρίως κατά την παραγωγή της ρητίνης. Η τελική οξύτητα μιας αλκυδικής ρητίνης συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 8 – 12. Μετράται σε mg KOH ανά γραμμάριο ρητίνης σε στερεά μορφή. Η οξύτητα δεν είναι μηδενική, διότι ο πολυμερισμός όπως είναι φυσικό σταματά σε κάποιο σημείο και υπάρχουν στη ρητίνη ελεύθερα καρβοξύλια.

Σχετικά υψηλότερη οξύτητα ευνοεί τη διαβροχή των πιγμένων και την πρόσφυση. Αν όμως αυτή είναι πολύ υψηλή, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα, κυρίως αν στο προϊόν περιέχονται βασικά πιγμένα. Αν η οξύτητα είναι πολύ χαμηλή, η ρητίνη μπορεί να έχει άλλα προβλήματα πέρα από την κακή διαβροχή και πρόσφυση, όπως θόλωμα και αστάθεια (4 σ. 122).

3.3.3. Χρώμα

Το χρώμα μιας ρητίνης καθώς και η όλη όψη της, παίζουν σπουδαίο ρόλο, ιδίως στα λευκά και ανοιχτόχρωμα επιχρίσματα και τα βερνίκια. Παράλληλα όμως, και ανεξάρτητα από αυτό, έχει μεγάλη σημασία το χρώμα του τελικού προϊόντος και η αντοχή του στο κιτρίνισμα. Το κιτρίνισμα των λευκών χρωμάτων είναι ένα από τα βασικότερα προβλήματα, το οποίο έχει ενταθεί πολύ τελευταίως. Η έντονη υπεριώδης ακτινοβολία, η μεγάλη ηλιοφάνεια και η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, είναι τα αίτια που ευνοούν το κιτρίνισμα. Το κιτρίνισμα αποφεύγεται με τη χρήση ρητινών που είναι κατασκευασμένες με κατάλληλα επιλεγμένα λιπαρά οξέα, Από τα καλύτερα λιπαρά οξέα γι' αυτή τη χρήση είναι τα safflower fatty acids (4 σ. 122).

3.3.4. Ξήρανση

Οι διάφοροι χρόνοι ξήρανσης (επαφής, πλήρους ξήρανσης κτλ) μια ρητίνης και των παραγόμενων προϊόντων, εξαρτώνται και αυτοί από τη σύνθεση της ρητίνης και κυρίως από τα λάδια ή λιπαρά οξέα που χρησιμοποιούνται. Οι χρόνοι ξήρανσης όμως, όπως είναι φυσικό, επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό και από τα στεγνωτικά που χρησιμοποιούνται, αλλά και από τα πιγμένα και τα πρόσθετα που περιέχονται σε έτοιμο προϊόν. Το γεγονός που επηρεάζει περισσότερο το χρόνο ξήρανσης είναι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες. Μάλιστα, η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος ασκεί μεγαλύτερη επιρροή από τη θερμοκρασία (4 σσ. 122-123).

3.4. Εφαρμογές

Οι ξηραϊνόμενες ρητίνες μεγάλου μήκους λαδιού χρησιμοποιούνται κυρίως για χρώματα αεροξηραϊνόμενα, που εφαρμόζονται με πινέλο. Διαλύονται εύκολα σε white spirit καθώς και σε ξυλόλη και τολουόλη. Χρησιμοποιούνται επίσης και για βερνίκια ξύλου καθώς και για μελάνια.

Οι ρητίνες μέσου μήκους λαδιού, συνήθως χρησιμοποιούνται για υποστρώματα, για στόκους, αλλά και για χρώματα βιομηχανικής εφαρμογής, για χρώματα αυτοκινήτων κτλ. Εφαρμόζονται με πιστόλι και ξηραίνονται είτε στον αέρα ή με μικρό χρόνο θέρμανσης σε φούρνο για ταχύτερη ξήρανση και σκλήρυνση (forced drying). Έχουν κατά κανόνα σχετικά καλή διαλυτότητα σε white spirit αλλά όχι απεριόριστη. Διαλύονται εύκολα σε ξυλόλη και τολουόλη.

Οι ρητίνες μικρού μήκους λαδιού είναι συνήθως μη ξηραϊνόμενες και συνήθως συνδυάζονται με άλλες ρητίνες. Ως επί το πλείστον, είναι αδιάλυτες σε white spirit, ενώ διαλύονται σε ξυλόλη και τολουόλη.

Σε συνδυασμό με νιτροκυτταρίνη, η αλκυδική μη – ξηραϊνόμενη ρητίνη, δρα σαν πλαστικοποιητής, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την πρόσφυση και τη στιλπνότητα του χρώματος.

Με αμινορητίνες (μελαμίνης – φορμαλδεΰδης και ουρίας – φορμαλδεΰδης), οι αλκυδικές ρητίνες μικρού μήκους, αντιδρούν σε θερμοκρασία 100 – 150 °C και εφαρμόζονται στα χρώματα φούρνου, προσδίδοντας ιδιότητες όπως ελαστικότητα, αντοχή σε χημικά και νερό, σκληρότητα, γυαλάδα κτλ.

Ρητίνες με κατάλληλο αριθμό υδροξυλίου, αντιδρούν με ισοκυανικές ρητίνες και δίνουν πολουρεθάνες. Έτσι, αποτελούν το φορέα για το πρώτο συστατικό των χρωμάτων και βερνικιών πολουρεθάνης δυο συστατικών, με εφαρμογές σε βιομηχανικά χρώματα, χρώματα και βερνίκια επιπλοποιίας, βερνίκια πατωμάτων κτλ (4 σ. 123).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ποιοτικός έλεγχος χρωμάτων

Για να διατηρηθεί η ποιότητα των επικαλύψεων σε υψηλό επίπεδο, απαιτείται συνεχής ποιοτικός έλεγχος, καθώς επίσης και καλή γνώση των πρώτων υλών, των βημάτων των διεργασιών, των συνθηκών αποθήκευσης και των διαδικασιών εφαρμογής (14).

Ο ποιοτικός έλεγχος διακρίνεται σε:

- Ποιοτικό έλεγχο κατά την παραγωγή, σε ένα προϊόν που παράγεται με γνωστή σύνθεση.
- Παραλαβή υλικού κατά την αγορά, σύμφωνα με τις δεδομένες προδιαγραφές και έλεγχος τήρησης αυτών.
- Κρίση/σύγκριση προϊόντων άγνωστης κατά κανόνα σύνθεσης.

Απ' όλες τις ιδιότητες που εξετάζονται παρακάτω, άλλες είναι πιο σημαντικές και εξετάζονται πάντοτε και άλλες είναι λιγότερο ή καθόλου σημαντικές και εξετάζονται σπανιότερα ή και καθόλου, ανάλογα με τη συγκεκριμένη χρήση και τις απαιτήσεις. Ανάλογα ακόμα με το υλικό, αν πρόκειται δηλαδή για χρώμα, βερνίκι, μελάνι ή άλλο, μερικές από τις ιδιότητες δεν έχουν εφαρμογή. Το σύνολο των ιδιοτήτων που έχουν εφαρμογή και επιλέγονται για εξέταση, διαφοροποιείται ανάλογα με το σκοπό του ποιοτικού ελέγχου.

Παρακάτω, θα ασχοληθούμε εκτενέστερα με τις εξής ιδιότητες των χρωμάτων (4):

- Ιδιότητες υγρού χρώματος
- Ιδιότητες κατά την εφαρμογή
- Ιδιότητες του ξηρού υμένα

4.1. Ιδιότητες χρωμάτων κατά τη σύνθεση

Τα χρώματα, τα βερνίκια και τα μελάνια χαρακτηρίζονται από ένα μεγάλο αριθμό φυσικών, χημικών, φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων. Οι ιδιότητες αυτές καθορίζουν την καταλληλότητα του κάθε προϊόντος για τη χρήση που αυτό προορίζεται (4).

Γενικότερα, τα επικαλυπτικά είναι πολύπλοκα συστήματα που πρέπει να ικανοποιούν μια μεγάλη σειρά διαφόρων απαιτήσεων. Ένα από τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά είναι η αναλογία του μέρους του πιγμέντου προς το μέρος του συνδετικού μέσου (PVC). Για κάθε επικαλυπτικό υπάρχει ένα κρίσιμο PVC, πάνω από το οποίο οι ιδιότητες του υμένα του επικαλυπτικού, χειροτερεύουν απότομα. Αυτή η αλλαγή των ιδιοτήτων εμφανίζεται διότι πάνω από το CPVC δεν υπάρχει επαρκής ποσότητα συνδετικού μέσου για να περιβάλλει πλήρως τα σωματίδια του πιγμέντου.

Επίσης, σημαντική είναι η δυνατότητα διασποράς του πιγμέντου στο συνδετικό μέσο και στο διαλύτη και ιδιαίτερα στην περίπτωση που βρίσκεται και το συνδετικό μέσο σε διασπορά. Η δυνατότητα διασποράς αυξάνει με τη δημιουργία φυσικών ή χημικών δεσμών ανάμεσα στο πιγμέντο και το συνδετικό μέσο, που επιτυγχάνεται με την προσθήκη ειδικών προσθέτων (2).

4.2. Ιδιότητες χρωμάτων σε υγρή φάση

Οι ιδιότητες των υγρών χρωμάτων είναι αυτές που ενδιαφέρουν και εξετάζονται περισσότερο κατά τον ποιοτικό έλεγχο των χρωμάτων την ώρα της παραγωγής.

4.2.1. Ιξώδες

Ένα μεγάλο εύρος μετρήσεων με ιξωδόμετρα και ροόμετρα χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό των ρεολογικών ιδιοτήτων των επικαλύψεων, όπως των μελανιών, των βερνικιών, των χρωμάτων εμβάπτισης (dip coating), των βαφών, των διασπορών, των μελανιών εκτύπωσης, των επικαλύψεων χάρτου και των χρωμάτων πούδρας (14). Ανάλογα με την περίπτωση – τιμή ιξώδους, εφαρμογή, είδος χρώματος, θιξοτροπία – επιλέγεται η μέθοδος μέτρησης του:

Ιξώδες με κύπελλο ροής

Το χρώμα που εξετάζεται τοποθετείται μέσα σ' ένα ειδικό πρότυπο κύπελλο με μια οπή συγκεκριμένης διαμέτρου στον πυθμένα και μετράται ο χρόνος που χρειάζεται για να αδειάσει το κύπελλο. Με τη μέθοδο αυτή μετράται συνήθως το ιξώδες σε λεπτόρρευστα υλικά, με σχεδόν νευτώνεια ροή, όπως είναι τα περισσότερα βερνίκια, μερικά χρώματα, χρώματα αραιωμένα ή έτοιμα για εφαρμογή κυρίως με πιστόλι ή με εμβάπτιση (4). Οι χρόνοι ροής² είναι αναπαραγωγίσιμοι μόνο για προϊόντα με νευτωνική συμπεριφορά ή συμπεριφορά κοντινή σε αυτή. Γι' αυτό το λόγο, περιορίζεται η χρήση των κυπέλλων ροής. Παρ' όλα αυτά, για ελεγκτικούς σκοπούς (π.χ. έλεγχος ποιότητας), τα κύπελλα ροής επιφέρουν συγκρίσιμα αποτελέσματα (15). Από τα διάφορα πρότυπα κύπελλα ροής, τα πιο διαδεδομένα είναι τα κύπελλα DIN 4 και ASTM.



Εικόνα 5: Κύπελλο ροής (16)

² Χρόνος ροής: Το χρονικό διάστημα από την ώρα που το υπό εξέταση υλικό αρχίζει να ρέει από το ακροφύσιο του κυπέλλου, μέχρι να διακοπεί η ροή της φλέβας κοντά στο ακροφύσιο.

Ιξωδόμετρο Krebs – Stormer

Είναι ένα πρακτικό και εύχρηστο όργανο για τη μέτρηση του ιξώδους συνήθων χρωμάτων κατά τον ποιοτικό έλεγχο την ώρα της παραγωγής. Χρησιμοποιείται συχνά λόγω της ευκολίας και της αξιοπιστίας του. Το όργανο έχει έναν άξονα (ρότορα) με 2 πτερύγια. Με κάποιο μηχανισμό, ο άξονας μπορεί να περιστραφεί παρασυρόμενος από σταθμά που προστίθενται πάνω σε μια βάση. Εμβαπτίζεται κάτω από καθορισμένες συνθήκες ο άξονας μέσα στο χρώμα που εξετάζεται, ελευθερώνεται το φρένο και προστίθενται σταθμά μέχρις ότου ο άξονας περιστρέφεται με ταχύτητα



Εικόνα 6: Ιξωδόμετρο Krebs – Stormer (44)

200rpm. Αυτό ελέγχεται με ένα κατάλληλο στροβοσκόπιο. Το ιξώδες αναφέρεται είτε απευθείας σε γραμμάρια βάρους είτε σε μονάδες Krebs που βρίσκονται από πίνακα. Η μέθοδος καλύπτεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ 825 και το ASTM – D – 562 (4).

Ιξώδες σε υψηλές ταχύτητες διάτμησης

Όταν η θιξοτροπία σε ένα χρώμα ή άλλο υλικό είναι μεγάλη και / ή το ιξώδες υψηλό, γίνεται η μέτρησή του σε υψηλές ταχύτητες διάτμησης (4).

4.2.2. Πυκνότητα

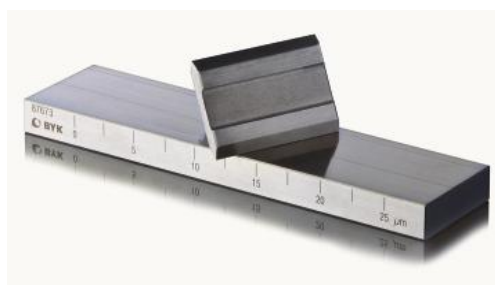
Η πυκνότητα (ειδικό βάρος) δεν φαίνεται εκ πρώτης όψης να έχει πρακτική σημασία κατά τη χρήση ενός χρώματος, εκτός από τους υπολογισμούς μεταξύ των ιδιοτήτων κατά βάρος και των ιδιοτήτων κατ' όγκο. Στην πραγματικότητα όμως, η πυκνότητα είναι μια σημαντική ιδιότητα κατά τον ποιοτικό έλεγχο στην παραγωγή χρωμάτων. Μας επιτρέπει να βεβαιωθούμε για τη σωστή σύνθεση του χρώματος. Αν η πυκνότητα διαφέρει από την τιμή της προδιαγραφής, μπορεί κανείς να ελέγξει, σε συνδυασμό και με άλλες ιδιότητες του χρώματος, αν το χρώμα έχει κατασκευαστεί σωστά, καθώς και αν η ανάδευση και η δειγματοληψία έγιναν κανονικά.

Η πυκνότητα μετράται σε κύπελλο γνωστού όγκου. Κατά το γέμισμα του κυπέλλου με το υλικό που εξετάζεται, πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή ώστε να μην εγκλωβίζεται αέρας, γιατί αλλάζει πολύ σημαντικά το αποτέλεσμα (4).

4.2.3. Βαθμός λειοτρίβησης

Πλήθος στερεών υλικών λειοτριβείται σε λεπτότερα σωματίδια, προκειμένου να διασπαρεί σε έναν υγρό φορέα. Οι φυσικές ιδιότητες του τελικού υλικού, εξαρτώνται όχι μόνο από το μέγεθος εκάστοτε σωματιδίου, αλλά και από το βαθμό που αυτά έχουν διασπαρθεί. Οι πλάκες βαθμού λειοτρίβησης χρησιμοποιούνται στον έλεγχο της παραγωγής, αποθήκευσης και εφαρμογής προϊόντων διασποράς, όπως τα χρώματα, τα πλαστικά, οι χρωστικές, τα μελάνια εκτύπωσης, το χαρτί, τα κεραμικά, τα φαρμακευτικά και τα τρόφιμα.

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από μια επίπεδη, μεταλλική πλάκα, στην επιφάνεια της οποίας είναι χαραγμένες δυο εγκοπές, μεταβλητού βάθους, κατά μήκος της. Το βάθος της εγκοπής είναι βαθμονομημένο σε μία ή περισσότερες κλίμακες, ανάλογα με το σύνηθες μέγεθος των σωματιδίων.



Εικόνα 7: Πλάκα βαθμού λειοτρίβησης (16)

Οι περισσότερες πλάκες έχουν μια κλίμακα σε μονάδες mils ή microns. Ισχύει ότι:

$$1 \text{ mil} = 25.4 \text{ microns}$$

$$1 \text{ mil} = 0.001 \text{ inch}$$

$$1 \text{ micron} (\mu\text{m}) = 0.001 \text{ mm} = 10^{-6} \text{ m}$$

Η κλίμακα Hegman κυμαίνεται από 0 έως 8, με τις τιμές να αυξάνονται όσο το μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται. Ισχύει ότι:

$$0 \text{ Hegman} = 4 \text{ mil}/100 \text{ micron}$$

$$4 \text{ Hegman} = 2 \text{ mil}/50 \text{ micron}$$

$$8 \text{ Hegman} = 0 \text{ mil}/0 \text{ micron}$$

Ο βαθμός λειοτρίβησης μετράται κατά τη διάρκεια της παραγωγής του χρώματος, αμέσως μετά τη λειοτρίβηση/διασπορά. Τοποθετείται μικρή ποσότητα χρώματος στην αρχή των δυο αυλακιών στη μεριά του μεγαλύτερου βάθους και σύρεται προς τα κάτω με κατάλληλο ξέστρο με σταθερή ταχύτητα. Το βάθος πέρα από το οποίο αρχίζουν να εμφανίζονται γραμμές ή στίγματα, δείχνει το βαθμό λειοτρίβησης. Η παρατήρηση πρέπει να γίνει μέσα σε 6 δευτερόλεπτα από το τέλος της κίνησης του ξέστρου. Η μέθοδος περιγράφεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ 469 και στο ISO 1524 (4). Η μέθοδος προσδιορίζει τη λεπτότητα της άλεσης ή την παρουσία χονδροειδών σωματιδίων ή συσσωματωμάτων σε διασπορά. Δεν καθορίζεται το μέγεθος των σωματιδίων ή κατανομή του μεγέθους αυτών (16).

4.2.4. Καλυπτικότητα σε υγρή βάση

Μετράται το πάχος υγρού χρώματος και απ' αυτό υπολογίζεται η απόδοση σε τετραγωνικά μέτρα ανά λίτρο χρώματος, πέρα από το οποίο το χρώμα καλύπτει τη διαφορά λευκού/μαύρου (4).

4.3. Ιδιότητες χρωμάτων κατά την εφαρμογή

Κατά την εφαρμογή του επικαλυπτικού, πρέπει το συνδετικό μέσο να σχηματίζει ένα καλό υμένα. Η απαιτούμενη θερμοκρασία είναι μερικοί βαθμοί πάνω από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης του πολυμερούς. Προκειμένου τα δημιουργούμενα φιλμ να προσφύονται καλά πάνω στη επιφάνεια, χρησιμοποιούνται μέσα πρόσφυσης που εξισορροπούν της ανωμαλίες της επιφάνειας (2).

Η μεγάλη πλειοψηφία των ιδιοτήτων του χρώματος κατά την εφαρμογή αφορά το χρόνο ξήρανσης σε όλες του τις μορφές και ποικιλίες. Όπως είναι γνωστό, υπάρχουν πολλά στάδια ξήρανσης και πολλές μέθοδοι, οι περισσότερες πρακτικές, για τη μέτρησή τους. Χαρακτηριστικά, αναφέρονται κάποιες από τις συνηθέστερες μεθόδους προσδιορισμού των ιδιοτήτων κατά την εφαρμογή (4).

4.3.1. Ξήρανση

Μέθοδος επιφανειακής ξήρανσης με ballotini

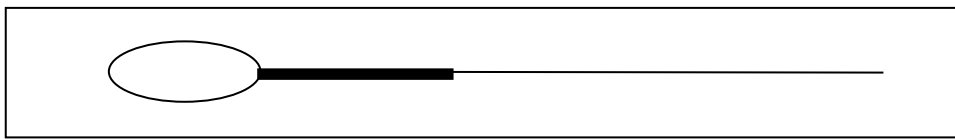
Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, ρίχνονται πάνω στον υμένα του χρώματος μικρά γυάλινα σφαιρίδια (ballotini), μέχρι να μπορούν αυτά να απομακρυνθούν με ελαφρό βούρτσισμα, χωρίς να χαλάσει η επιφάνεια του χρώματος. Καλύπτεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ 250 και ISO 1517 και είναι αντίστοιχο με το dust – free (4).

Χρόνος πλήρους ξήρανσης

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, σε τακτά χρονικά διαστήματα, περιστρέφεται με πίεση πάνω στο φιλμ, ένας κατάλληλος μηχανισμός, μέχρις ότου να μην υφίσταται παραμόρφωση στον υμένα του χρώματος. Σε απλούστερες περιπτώσεις, ο έλεγχος μπορεί να γίνει και με τον αντίχειρα. Η μέθοδος καλύπτεται από το ΕΛΟΤ 1055 και το ISO 9117 και αφορά την πλήρη ξήρανση σε βάθος (through – drying) (4).

Αυτόματη μέθοδος με συρόμενη βελόνη

Πραγματοποιείται με τη συσκευή BK drying recorder. Αποτελεί μια πλήρη, πιο αντικειμενική και πολύ αξιόπιστη μέθοδο. Περιλαμβάνει όλες τις φάσεις της ξήρανσης. Εφαρμόζεται ένας τυποποιημένος υμένας χρώματος πάνω σ' ένα στενόμακρο γυάλινο δοκίμιο, το οποίο τοποθετείται στη συσκευή. Από πάνω του και στην αρχή του υμένα, τοποθετείται μια από τις βελόνες του μηχανήματος και αυτή πιέζει τον υμένα με σταθερό βάρος. Ο μηχανισμός ξεκινά αμέσως και παρασύρει τη βελόνα με σταθερή, πολύ χαμηλή ταχύτητα, κατά μήκος του δοκιμίου. Η συσκευή συνήθως λειτουργεί όλη τη νύχτα. Όταν τελειώσει η διαδρομή, μπορεί κανείς να μετρήσει τους χρόνους της κάθε μιας από τις φάσεις της ξήρανσης (4).



Φάση I	Φάση II	Φάση III	Φάση IV	Φάση V
--------	---------	----------	---------	--------

- Φάση I: Χρώμα ρευστό. Η χαραγή ξανακλείνει
- Φάση II: Η βελόνα αφήνει βαθειά χαραγή
- Φάση III: Η επιφάνεια μόνο έχει στεγνώσει
- Φάση IV: Η επιφάνεια είναι στεγνή, αλλά το εσωτερικό έχει ακόμη κινητικότητα.
Η βελόνα αφήνει ίχνος που σβήνει σιγά σιγά.
- Φάση V: Το ίχνος έχει σταματήσει. Το εσωτερικό έχει στεγνώσει καλά.

Φαινόμενη ξήρανση ελεύθερη αποτυπώματος (print - free)

Είναι άλλη μια από τις πολλές μεθόδους ελέγχου ξήρανσης. Μια κατάλληλη γάζα πιέζεται με καθορισμένες συνθήκες (βάρος, χρόνος, κτλ) πάνω στην επιφάνεια του χρώματος. Μετράται ο χρόνος πέρα από τον οποίο η γάζα δεν αφήνει αποτύπωμα πάνω στην επιφάνεια (4).

Δοκιμή στην πίεση από στοίβαξη

Με αυτή τη δοκιμή ελέγχεται κατά πόσο τα δοκίμια με το χρώμα που εξετάζεται, μετά από ξήρανση σε καθορισμένες συνθήκες, έχουν ξηρανθεί αρκετά, ώστε όταν στοιβαχτούν το ένα πάνω στο άλλο με πίεση, να μην κολλούν μεταξύ τους. Η μέθοδος περιγράφεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ 1001 και το ISO 4622 (4).

Ρόδα ελέγχου ξήρανσης

Εφαρμόζεται κυρίως στα χρώματα διαγραμμίσεως οδοστρωμάτων. Μια ρόδα με καθορισμένες διαστάσεις και βάρος, κυλιέται πάνω στον υμένα του χρώματος κάτω από καθορισμένες συνθήκες και σε καθορισμένο χρόνο. Η ρόδα δεν πρέπει να αφήσει αποτύπωμα πάνω στον υμένα (4).

4.3.2. Δάκρυσμα

Με κατάλληλο φιλμογράφο που έχει πολλές εγκοπές διαφορετικού πάχους και σε καθορισμένες αποστάσεις, εφαρμόζεται το χρώμα πάνω σε γυάλινο δοκίμιο και αμέσως μετά αυτό ανασηκώνεται όρθιο. Σημειώνεται το υγρό πάχος, πέρα από το οποίο το χρώμα έχει κυλήσει (δακρύσει) σε απόσταση μεγαλύτερη από το 25% του πλάτους της λωρίδας. Πρέπει να δίνεται προσοχή στο ότι το πάχος του κάθε υγρού υμένα είναι το μισό από το άνοιγμα του φιλμογράφου (4).

4.3.3. Ελάχιστη θερμοκρασία σχηματισμού υμένα

Έχει μεγάλη σημασία στα πλαστικά χρώματα υδατικής διασποράς, όπου και ελέγχεται. Αυτή πρέπει οπωσδήποτε να είναι χαμηλότερη από την πιο χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος που αναμένεται να επικρατεί κατά τη χρήση του χρώματος, διότι σε διαφορετική περίπτωση, το χρώμα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ωστόσο, σπάνια ελέγχεται η συγκεκριμένη ιδιότητα σε καθημερινή βάση κατά τον ποιοτικό έλεγχο της παραγωγής. Η ελάχιστη θερμοκρασία σχηματισμού υμένα (minimum film – forming temperature, MMFT), ρυθμίζεται από τη σύνθεση του χρώματος (4).

4.3.4. Χρόνος ζωής μίγματος (pot – life)

Έχει εφαρμογή μόνο στα χρώματα δυο ή περισσότερων συστατικών, όπου και ελέγχεται. Είναι ο χρόνο μετά τον οποίο, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, το μίγμα των συστατικών ενός χρώματος παύει να είναι κατάλληλο για εφαρμογή (4).

4.3.5. Ευκολία εφαρμογής του χρώματος

Συχνά ονομάζεται και «στρώσιμο». Έχει μεγαλύτερη σημασία στα χρώματα πινέλου. Είναι πολύ πρακτική ιδιότητα και μπορεί να ελεγχθεί μόνο πρακτικά. Υπάρχει βέβαια και μια συσκευή φιλμογράφου που εφαρμόζει το χρώμα σε πολύ κοντινές λωρίδες και ελέγχεται κατά πόσο αυτές προλαβαίνουν να ενωθούν μέχρι την ξήρανση του υμένα. (4).

4.4. Ιδιότητες του ξηρού χρώματος

Εδώ συγκαταλέγονται οι οπτικές και οι μηχανικές ιδιότητες και φυσικά οι χημικές αντοχές και οι αντοχές σε γήρανση των χρωμάτων. Οι ιδιότητες αυτές εξετάζονται στο στεγνό υμένα του χρώματος, μετά την πλήρη ξήρανση.

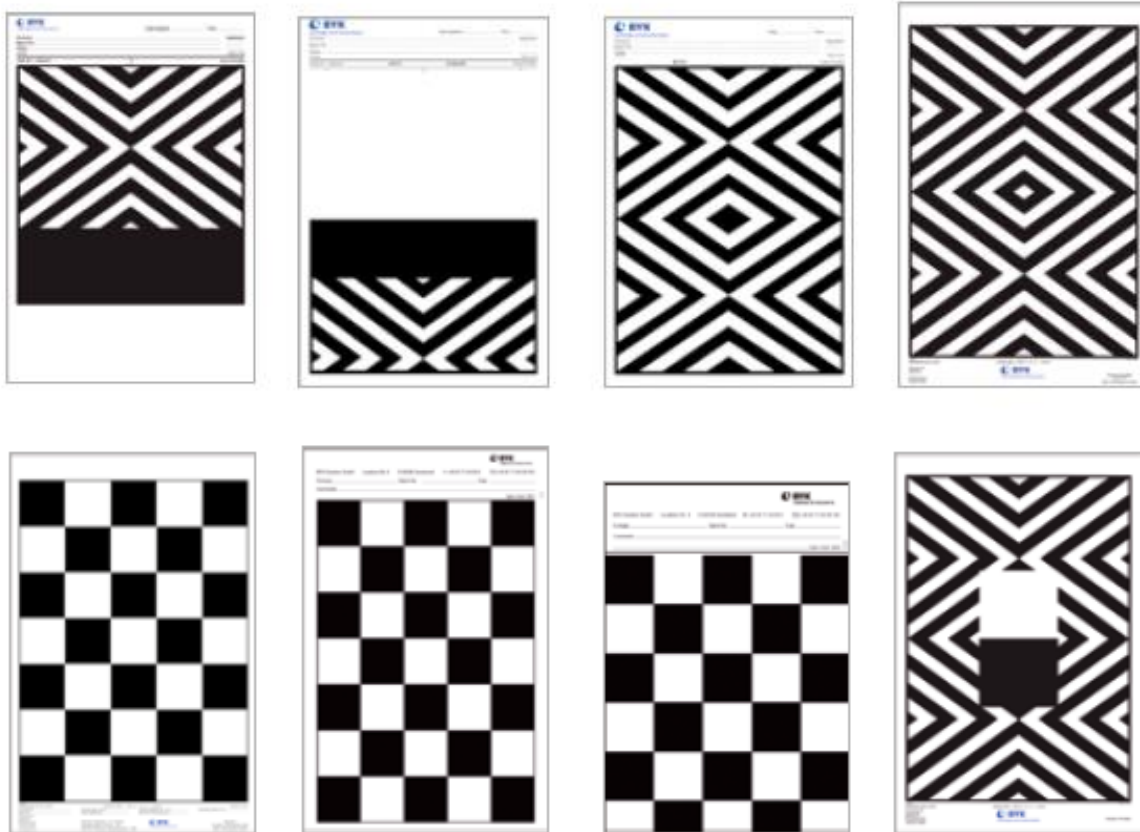
Οι περισσότερες από αυτές τις δοκιμές, εκείνες που εκτελούνται κατά τον ποιοτικό έλεγχο των χρωμάτων, γίνονται συνήθως το επόμενο 24ωρο από την εφαρμογή. Άλλες χρειάζονται κάποια γήρανση είτε διαρκούν κάποιο μικρό χρονικό διάστημα και άλλες όπως οι δοκιμές αντοχών διαρκούν αρκετό χρόνο. Σε άλλες περιπτώσεις ελέγχου, οι δομικές γίνονται σε χρόνους ανεξάρτητους από την εφαρμογή του χρώματος, όπως για παράδειγμα κατά τον έλεγχο βαμμένων επιφανειών (4).

4.4.1. Στιλπνότητα

Η στιλπνότητα μετράται εύκολα με κατάλληλο στιλπνόμετρο. Το στιλπνόμετρο έχει μια πρότυπη πηγή φωτισμού που ρίχνει πάνω στο δοκίμιο μια παράλληλη δέσμη φωτός με σταθερή γωνία πρόσπτωσης. Από την άλλη μεριά, υπάρχει ένα φωτοκύτταρο που δέχεται το ανακλώμενο φως από το δοκίμιο με την ίδια φυσικά γωνία. Συνήθως χρησιμοποιείται στιλπνόμετρο με γωνίες πρόσπτωσης και παρατήρησης 60°. Η παλαιότερη μέθοδος των 45° έχει πλέον καταργηθεί. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται και στιλπνόμετρα με άλλες γωνίες πρόσπτωσης και παρατήρησης, όπως 20° για τα πολύ στιλπνά χρώματα και 85° για τα χρώματα ματ και σατινέ. Αυτό, γιατί σ' αυτές τις γωνίες, επιτυγχάνεται καλύτερη διαφοροποίηση μετρήσεων άρα και ακρίβεια ανάλογα με την περίπτωση. Εκτός από τη στιλπνότητα, έχει σημασία και η διατήρησή της. Η στιλπνότητα καλύπτεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ 725 και το ISO 2813 (4).

4.4.2. Καλυπτική ικανότητα

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τη μέτρηση της καλυπτικής ικανότητας. Οι συνηθέστερες είναι η εφαρμογή ενός υμένα χρώματος σε καθορισμένο πάχος - ή καθορισμένη απόδοση σε m^2/l - είτε πάνω σε κατάλληλο πολυεστερικό φύλλο είτε σε μια ειδική ασπρόμαυρη κάρτα. Μετά την ξήρανση του υμένα, μετράται ο λόγος αντίθεσης, δηλαδή ο λόγος της ανακλαστικότητας του φωτός με κατάλληλο όργανο πάνω από το άσπρο μέρος της κάρτας και αντίστοιχα πάνω από το μαύρο.



Εικόνα 8: Κάρτες μέτρησης καλυπτικής ικανότητας (16)

Οι δυο αυτές μέθοδοι που περιγράφονται στα πρότυπα ΕΛΟΤ 727 και 721 αντίστοιχα, προβλέπουν τη μέτρηση του λόγου αντίθεσης σε δεδομένη απόδοση, δηλαδή σε δεδομένο πάχος υγρού υμένα. Όμως, η καλυπτική ικανότητα ενός χρώματος ορίζεται ως η απόδοση στην οποία ο λόγος αντίθεσης είναι 98%. Για την εύρεση αυτής, απαιτείται η μέτρηση της ανακλαστικότητας σε διάφορα πάχη, καθώς και η χρήση των εξισώσεων Kubelka – Munk. Η μέθοδος περιγράφεται στο ΕΛΟΤ 1022 και είναι πληρέστερη (4).

4.4.3. Λευκότητα

Η λευκότητα μετράται αποκλειστικά στα λευκά χρώματα. Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 849, μετράται μέσω ενός χρωματομέτρου, η ανακλαστικότητα του ξηρού υμένα του χρώματος με δύο διαφορετικά πρότυπα φίλτρα, μπλε και πράσινο. Η λευκότητα υπολογίζεται από τον τύπο: $WI = 4B - 3G$, όπου B είναι η ανακλαστικότητα με το μπλε φίλτρο (συνάρτηση z κατά CIE) και G η ανακλαστικότητα με το πράσινο φίλτρο (συνάρτηση y κατά CIE). Η διατήρηση της λευκότητας είναι μια άλλη ιδιότητα που έχει μεγάλη σημασία, η οποία όμως δεν μπορεί να ελεγχθεί αμέσως. Είναι από τις ιδιότητες που μετρώνται επί μακρό χρονικό διάστημα (4).

4.4.4. Απόχρωση

Πληθώρα τρόπων υπάρχουν για τον καθορισμό και τη μέτρηση ενός χρώματος. Όλες οι μέθοδοι όμως, διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες, αυτές που γίνονται με το μάτι και αυτές που γίνονται με χρωματόμετρα. Στην περίπτωση ελέγχου με το μάτι, το δείγμα και το πρότυπο πρέπει να βρίσκονται σε κατάλληλο χώρο με καθορισμένο φωτισμό. Έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς διάφορα συστήματα καθορισμού της απόχρωσης με χρωματόμετρα, αλλά πλέον χρησιμοποιείται αποκλειστικά το σύστημα L^*a^*b κατά CIE (4).

4.4.5. Σκληρότητα

Χάραξη με πρότυπα μολύβια

Ο υμένας του χρώματος χαράσσεται με μολύβια διαφορετικής σκληρότητας H-6H, HB, F-6F. Η μέθοδος χαρακτηρίζεται από ευκολία και απλότητα (4).

Δοκιμή χάραξης

Άλλος τρόπος είναι η χάραξη με μια βελόνα που πιέζεται με διάφορα βάρη και σύρεται πάνω στον υμένα. Η συσκευή μπορεί να είναι αυτόματη ή χειροκίνητη. Η μέθοδος καλύπτεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ 251 και το ISO 1518 (4).

Δοκιμή αυλάκωσης κατά Buchholz

Κατά τη μέθοδο Buchholz τοποθετείται πάνω στο χρώμα μια ειδική συσκευή με μια αιχμηρή ακμή σε σχήμα τόξου κύκλου και με σταθερό βάρος για ορισμένο χρόνο. Υπολογίζεται το βάθος που εισχωρεί αυτή μέσα στο χρώμα από το μήκος της αυλάκωσης (4).

Δοκιμή σκληρότητας με τη μέθοδο απόσβεσης εκκρεμούς

Αποτελεί μια από τις συνηθέστερες μεθόδους μέτρησης σκληρότητας. Ένα καθορισμένο εκκρεμές που στηρίζεται πάνω στον υμένα του χρώματος, διεγείρεται σε μια καθορισμένη γωνία και αφήνεται να ταλαντεύεται. Μετράται ο χρόνος που απαιτείται για την απόσβεση των ταλαντώσεων. Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο χρόνος, τόσο μεγαλύτερη είναι η σκληρότητα του χρώματος. Υπάρχουν πολλά πρότυπα που καλύπτουν εκκρεμή με διαφορετικά σχήματα και συνθήκες. Τα πιο συνηθισμένα είναι τα εκκρεμή Koenig & Persoz. Και τα δυο περιγράφονται στο ΕΛΟΤ 453. Συνήθως η σκληρότητα μετράται σε πολλά χρονικά διαστήματα και καταγράφεται σε πίνακα (4).

4.4.6. Ελαστικότητα / Ευκαμψία

Αυτή η ιδιότητα είναι ανταγωνιστική με τη σκληρότητα. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι ελέγχου, που όπως είναι φανερό, καθεμιά αναπαριστά κάποια διαφορετική παραμόρφωση από αυτές που πρόκειται να υποστεί ο υμένας του χρώματος κατά την πραγματική χρήση (4).

Ευκαμψία γύρω από άξονα

Δοκίμιο με το χρώμα που εξετάζεται, κάμπτεται γύρω από σταθερό άξονα, κυλινδρικό ή κωνικό και ελέγχεται σε ποια διάμετρο σπάει ο υμένας (4).

Κοίλανση (Cupping)

Κατά τη μέθοδο της κοίλανσης (cupping test), ένα μεταλλικό δοκίμιο με το χρώμα που εξετάζεται, πιέζεται σε μια κατάλληλη συσκευή, έτσι ώστε να παραμορφώνεται βαθμιαία και να ελέγχεται πότε εμφανίζεται σπάσιμο του υμένα, δηλαδή σε ποιο βάθος εισχώρησης της συσκευής (4).

Μέθοδος με την πτώση βάρους

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αντίστοιχη της προηγούμενης, αλλά με απότομη πτώση βάρους πάνω στο δοκίμιο. Η πτώση μπορεί να γίνει από τη μπροστινή ή την πίσω πλευρά του δοκιμίου, ανάλογα με τη συμφωνία ή την προδιαγραφή. Χρησιμοποιούνται διάφορες συσκευές, με το ίδιο αποτέλεσμα σε γραμμάρια X cm και καλύπτονται όλες από το ΕΛΟΤ 1025 και το ISO 6272 (4).

4.4.7. Πρόσφυση

Η πρόσφυση δεν εξαρτάται μόνο από την ποιότητα του χρώματος που εξετάζεται, αλλά εξαρτάται άμεσα και από το είδος του δοκιμίου, την προετοιμασία του και τα τυχόν υπάρχοντα προηγούμενα στρώματα χρώματος. Για τον ίδιο λόγο, δεν έχει νόημα η εξέταση της πρόσφυσης κατά τον ποιοτικό έλεγχο της καθημερινής παραγωγής.

Για την πρόσφυση υπάρχουν δυο μέθοδοι, η μέθοδος της σταυροειδούς εγκοπής και η μέθοδος με αποκόλληση. Κατά την πρώτη, χαράσσεται με κατάλληλο όργανο πάνω στον υμένα μια σειρά από παράλληλες γραμμές σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους και ύστερα, μια άλλη σειρά γραμμών κάθετες στην πρώτη. Εν συνεχεία, εξετάζεται ο υμένας του χρώματος στα σχηματισμένα τετράγωνα ανάμεσα στις χαραγές. Κατά τη δεύτερη μέθοδο, επικολλάται πάνω στον υμένα η κεφαλή της συσκευής μέτρησης. Αρχίζει η έλξη της κεφαλής με μεταβλητή δύναμη μέχρι την αποκόλληση του υμένα (4).

4.4.8. Αντοχή στην τριβή

Ένας υμένας χρώματος εφαρμόζεται με καθορισμένες συνθήκες σε ένα δοκίμιο και μετά την ξήρανση και ενδεχομένως γήρανση, δοκιμάζεται σε μια συσκευή με βούρτσες που τρίβουν τον υμένα με νερό ή νερό και σαπουνάδα. Μετρώνται οι κύκλοι μέχρι τη φθορά του υμένα.

Σύμφωνα με άλλη μέθοδο, τη μέθοδο ΕΛΟΤ 1047 και ISO 7784, χρησιμοποιείται μια συσκευή με δυο ρόδες, στις οποίες έχουν τοποθετηθεί κατάλληλα σμυριδόχαρτα. Οι ρόδες περιστρέφονται πάνω στα δοκίμια για καθορισμένο χρονικό διάστημα και μετράται η απώλεια βάρους του χρώματος πάνω στο δοκίμιο (4).

4.4.9. Ανωμαλίες επιφάνειας

Από τα πρώτα πράγματα που εξετάζονται σε ένα χρώμα, είναι η κανονικότητα της επιφάνειας του υμένα και η καθαρότητά της από κάθε είδους ανωμαλίες. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με το μάτι, μακροσκοπικά (4).

4.4.10. Χημικές αντοχές

Οι χημικές αντοχές δεν εξετάζονται αμέσως, αλλά όπως είναι φανερό, διαρκούν αρκετό χρόνο. Η επιλογή των αντοχών γίνεται με βάση τη συγκεκριμένη χρήση και τις απαιτήσεις από την εφαρμογή του κάθε χρώματος.

Μερικές από τις αντοχές που συνήθως εξετάζονται είναι (4) :

- αντοχή στην εμβάπτιση σε νερό ή άλλα υγρά
- αντοχή στη διέλευση υδρατμών
- αντοχή στην ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου
- αντοχή στην αλατονέφωση
- αντοχή στα καυσαέρια
- αντοχή στην υγρασία και τη συμπύκνωση
- αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία
- αντοχή στο φως (φυσικό, τόξου άνθρακος, λυχνίας ξένου, υπεριώδες, κτλ)

4.5. Φυσικοχημικές μέθοδοι χαρακτηρισμού

Εκτός από όλες τις προαναφερόμενες δοκιμές ποιοτικού ελέγχου, μια σειρά φυσικοχημικών τεχνικών ενόργανης χημικής ανάλυσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το χαρακτηρισμό των επικαλύψεων.

4.5.1. Οπτική μικροσκοπία

Η επιφάνεια μπορεί να μελετηθεί με τη βοήθεια οπτικού μικροσκοπίου. Το οπτικό μικροσκόπιο όπως και το μικροσκόπιο οπτικών ινών, χρησιμοποιούν ως φωτεινή πηγή λευκό φως, συγκεκριμένα λάμπα αλογόνου. Οι οπτικές ιδιότητες των άμορφων και κρυσταλλικών υλικών, οφείλονται στην αλληλεπίδρασή τους με το προσπίπτον φως. Τα κύρια φαινόμενα που καθορίζουν αυτή την αλληλεπίδραση είναι η ανάκλαση, η διάθλαση και η απορρόφηση. Τα φαινόμενα αυτά αντιμετωπίζονται στην οπτική μικροσκοπία με βάση τις εξισώσεις Maxwell για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Όλες οι σχέσεις που διέπουν την οπτική μικροσκοπία, βασίζονται στην πόλωση του φωτός που επιτυγχάνεται με τα πρίσματα Nicols (17).

4.5.2. Φασματομετρία

Ως φασματομετρικές τεχνικές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν η υπέρυθη φασματομετρία (Infrared Spectroscopy) και η φασματομετρία υπεριώδους ορατού (UV-Vis Spectroscopy) (18).

4.5.3. Θερμοαναλυτικές τεχνικές

Στις θερμοαναλυτικές τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν για τον χαρακτηρισμό των επικαλύψεων, συγκαταλέγονται η θερμιδομετρία (calorimetry), η διαφορική θερμική ανάλυση (DTA) και η θερμοβαρυμετρική ανάλυση (TG) (18).

4.5.4. Χρωματογραφία

Η αέρια χρωματογραφία (GC), είναι η ευρέως χρησιμοποιούμενη χρωματογραφική μέθοδος. Επιτρέπει τόσο την ποιοτική όσο και την ποσοτική ανάλυση, διαλυτών, μονομερών και πλαστικοποιητών. Επιπλέον, φαντάζει ιδιαίτερα χρήσιμη στην ανάλυση των συστατικών των αλκυδικών ρητινών (18).

Πίνακας 9: Κατάλογος επιμέρους ελέγχων ποιότητας για βιομηχανικά και ναυτιλιακά χρώματα

Αριθμός Οξέως Ρητίνης (Acid Number)	Αντοχή σε χάραξη (Skinning)
Απόχρωση Ρητίνης (Colour of binder Resin)	Πρόσφυση / Σταυρωτή χαραγή (Adhesion / Cross hatch)
Περιεκτικότητα κατ' όγκο στερεών ρητίνης (Volume Solid Content)	Μέτρηση πάχους ξηρού υμένα (Measuring of DFT)
Ιξώδες σε διάλυμα 50% (Viscosity at 50 and 40% SC)	Εφαρμογή (Applicability)
Ιδιότητες ξήρασης (Drying Properties)	Τραχύτητα (Coarseness)
Συμβατότητα (Compatibility)	Σκληρότητα μετά ξήρασης (Hardness after aging)
Στιλπνότητα (Gloss) και Στιλπνότητα μετά γήρασης (Gloss after aging)	Χρόνος αποθήκευσης (Storage test)
Ροή και δάκρυσμα (Flow & Sagging)	Απόχρωση πιγμέντων (Color of pigments)
Καλυπτικότητα (Hiding Power)	Σκληρότητα Buchholz (Hardness Buchholz)
Πρόσφυση μετά γήρασης (Adhesion / cross cut after aging)	Αντοχή σε καιρικές συνθήκες (Weathering)
Κάμψη κατά την ξήραση (Bending air drying)	Αντοχή σε καιρικές συνθήκες για ένα χρόνο (Weathering test 1 year)
Κάμψη μετά ξήρασης (Bending after drying)	Κιτρίνισμα σε 24ώρες στους 60°C (Yellowing 24 hours 60°C)
Κατανάλωση φορέα από πιγμέντα (Oil consumption of pigments)	Δοκιμή αλατονέφωσης (Salt spray test)
Περιεκτικότητα κατ' όγκο πιγμέντων (Volume pigments concentration)	Φυσική γήραση υπό καιρικές συνθήκες (Natural weathering)
Περιεκτικότητα στερεών κατά βάρος (Solid Content Weight)	Πάχος ξηρού υμένα (Dryfilm thickness)
Ποσοστό διαλύτου για ιξώδες 80s (Used quantity of solvents for viscosity 80s)	Αντίσταση σε SO₂ (Resistance against SO ₂)
Ποσοστό διαλύτου για ιξώδες 140s (Used quantity of solvents for viscosity 140s)	Θεωρητική περιεκτικότητα στερεών κατ' όγκο και βάρος (Theoretical solids content, volume and weight)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ρεολογία των χρωμάτων

Η ρεολογική συμπεριφορά παίζει έναν κρίσιμο ρόλο σε καθένα από τα βήματα που ακολουθεί μία επικάλυψη. Μετά την ανάπτυξη της συνταγής, η παραγωγή ξεκινά με τον ποιοτικό έλεγχο των πρώτων υλών, δηλαδή των ρητινών, των διαλυτών, των πληρωτικών (fillers) και των προσθέτων. Για να είναι εφικτή η παραγωγή του χρώματος, τα συστατικά προϋποθέτουν τις ικανότητες της ανάμιξης, της ανάδευσης, της διασποράς, της άντλησης, της ομοιογενοποίησης και της σταθεροποίησης. Μια καλή επικάλυψη εμφανίζει σταθερότητα κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής και μεταφορά χωρίς καθίζηση, κροκίδωση, συσσωμάτωση και πήξη. Οι ρεολογικές μετρήσεις βοηθούν στην επιλογή σωστών διαστάσεων σωληνώσεων, αντλιών, αναμικτήρων και γεμιστικών μηχανημάτων.

Μια ποικιλία εφαρμογών όπως το οι βαφές παντός τύπου, οι εκτυπώσεις και οι βούτες, χρησιμοποιούν υψηλούς βαθμούς διάτμησης και εφελκυσμού -που αντιτίθενται συνήθως στις επιδράσεις της βαρύτητας, όπως για παράδειγμα, το φαινόμενο της διαστρωμάτωσης- με σκοπό τη δημιουργία ενός ομογενούς φιλμ με καλές ιδιότητες ως προς τη δομή, την εμφάνιση και την προστασία του υποστρώματος.

Ενώ η σταθερότητα κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής και οι ιδιότητες όπως η διαστρωμάτωση ή το sagging, χαρακτηρίζονται καλύτερα από μια μέτρηση σταθερής τάσης (controlled stress –CS), οι διάφοροι ρυθμοί διάτμησης της ανάμιξης, της άντλησης, του γεμίματος και του βαψίματος, αναπαριστούνται καλύτερα με μετρήσεις σταθερού ρυθμού (controlled rate – CR). Η δοκιμή ερπυσμού για παράδειγμα πραγματοποιείται υπό σταθερή τάση (CS). Για να γίνουν καλύτερα αντιληπτά τα εφελκυστικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά τις βαφές παντός τύπου, απαιτείται πειραματικός προσδιορισμός (14).

Σημαντικά φαινόμενα που λαμβάνονται υπόψη στη ρεολογία είναι τα ακόλουθα (19):

1. Χρονική εξάρτηση: χαλαρωτικό μέτρο ελαστικότητας (relaxing modulus), $G(t)$.
2. Ιξώδες διατμητικής λέπτυνσης ή πάχυνσης (shear thinning or thickening viscosity), $\eta(\dot{\gamma})$.
3. Διαφορά κάθετων τάσεων σε διάτμηση, $T_{11}-T_{22} > 0$, $T_{22}-T_{33} < 0$.
4. Ιξώδες εκτατικής λέπτυνσης ή πάχυνσης (extensional thinning or thickening viscosity) $\eta E(\dot{\epsilon})$.

5.1. Τα χρώματα ως κolloειδή συστήματα

Τα βιομηχανικά και ναυτιλιακά χρώματα εντάσσονται στα κolloειδή συστήματα, καθώς το μεγαλύτερο μέρος των συστατικών τους, δημιουργούν κolloειδείς διασπορές. Συγκεκριμένα, οι διαλύτες και ιδιαίτερα το White Spirit, το οποίο αποτελεί μίγμα υδρογονανθράκων, ως πετρελαιοειδές, ανήκει στα κolloειδή συστήματα. Ακόμα, οι ρητίνες, φυσικές κι τεχνητές, είναι κolloειδή πήγματα από πηκτές. Ορισμένα πρόσθετα ακόμα, όπως το χλωριωμένο καουτσούκ που αποτελεί σύνθετος συστατικό των ναυτιλιακών χρωμάτων, είναι κolloειδές που διογκώνεται σε υγρά μέσα και σχηματίζει πηκτές. Τέλος, οι περισσότερες από τις οργανικές χρωστικές, αν διαλυθούν σε νερό δημιουργούν κolloειδές σύστημα.

Για να δημιουργηθεί κolloειδές σύστημα, πρέπει η ύλη κolloειδών διαστάσεων να βρεθεί διασκορπισμένη σε μέσο διασποράς. Επειδή η ύλη αυτή μπορεί να βρίσκεται σε μία απ' τις τέσσερες φυσικές καταστάσεις και το μέσο διασποράς μπορεί επίσης να βρίσκεται σε μία απ' τις τέσσερες φυσικές καταστάσεις, είναι δυνατή θεωρητικά η παρασκευή εννέα ειδών κolloειδών συστημάτων (τα μεσόμορφα παίρνονται ή σαν υγρά ή σαν στερεά) (20).

Τα βιομηχανικά και ναυτιλιακά χρώματα ανήκουν στα υδρολύματα, καθώς στερεές ουσίες (χρωστικές, πληρωτικά κτλ), διασπείρονται σε υγρή φάση (ρητίνη). Η παρασκευή αυτού του είδους των κolloειδών συστημάτων βασίζεται στη μηχανική πέψη, που αποτελεί μια μέθοδο διασκόρπισης. Το συστατικό [στερεό, άμορφο ή μεσόμορφο (πλαστικοί κρύσταλλοι)] κατανέμεται πρώτα σε κolloειδείς διαστάσεις, και διασκορπίζεται, με την προϋπόθεση βέβαια ότι για υγρό μέσο διασποράς, η ύλη, που διασκορπίζεται, είναι αδιάλυτη σ' αυτό ή το μέσο είναι κορεσμένο σ' αυτή. Μετά τη διασπορά, πολύ σπάνια μετατρέπεται αυτόματα σε κolloειδές σύστημα με το μέσο διασποράς.

Οι κolloειδείς μονάδες έχουν έμμεση θερμική κίνηση, με ορισμένη συχνότητα που οδηγεί σε συγκρούσεις μεταξύ τους και με τα τοιχώματα των δοχείων, που περιέχουν το κolloειδές σύστημα. Τη συχνότητα αυτή ακριβώς πρέπει να δώσουμε με μηχανικά μέσα, για να γίνει η πέψη και να δημιουργηθεί κolloειδές σύστημα. Αυτό πετυχαίνεται μερικές φορές με απλή ανάδευση ή κατά τη λειοτριβή της ουσίας, στον κolloειδόμυλο, στην περίπτωση που ο υγρός φορέας είναι και το μέσο διασποράς.

Γενικά, τα λυόφιλα κolloειδή αλλοιώνουν σημαντικά ορισμένες φυσικές ιδιότητες του μέσου διασποράς, γιατί οι ιδιότητες (πυκνότητα, παραμόρφωση) των μορίων του, που αποτελούν δομικά στοιχεία του μυκηλίου, διαφέρουν σημαντικά, από εκείνες των ελεύθερων μορίων του μέσου διασποράς, εξαιτίας των έντονων ροφητικών δυνάμεων, που ασκούνται σ' αυτά από τις κolloειδείς μονάδες.

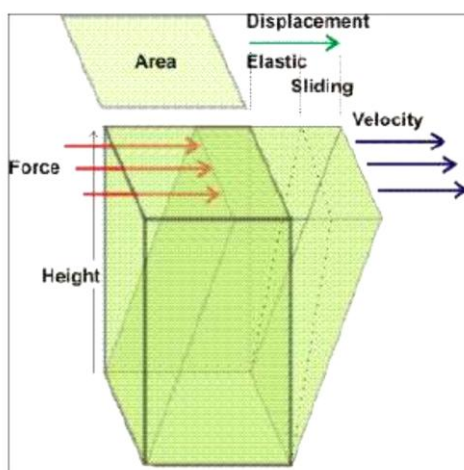
Έτσι, συνήθως, λυόφιλο κολλοειδές σύστημα σε υγρό μέσο διασποράς έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το μέσο διασποράς, μερικές όμως φορές και μικρότερο. Η επιφανειακή τάση μικραίνει και το ιζώδες του μέσου διασποράς μεγαλώνει, μόλις δημιουργηθεί το λυόφιλο κολλοειδές σύστημα (20).

5.2. Συνεκτικότητα ή ιζώδες

Η συνεκτικότητα ή ιζώδες (μ ή η) είναι χαρακτηριστική φυσική ιδιότητα των ρευστών και είναι το αίτιο της εμφάνισης της διατμητικής εντατικής κατάστασης στη μάζα τους. Συνεκτικότητα είναι η ιδιότητα των ρευστών να ανθίστανται στη διάτμησή τους, δηλαδή στην κίνηση ενός στοιχείου ως προς το διπλανό του. Από φαινομενολογικής σκοπιάς η συνεκτικότητα μοιάζει με την τριβή δύο στερεών σωμάτων που βρίσκονται σε επαφή και κινούνται σχετικά. Γι' αυτό το λόγο ονομάζεται και εσωτερική τριβή (21).

Η παραμόρφωση ή διάτμηση των ρευστών προκαλείται από την επίδραση διατμητικών τάσεων. Εάν θεωρήσουμε δύο γειτονικά στοιχεία ρευστού που βρίσκονται σε σχετική κίνηση, εμφανίζεται μεταξύ τους εφαπτομενική δύναμη, η οποία ονομάζεται διατμητική δύναμη. Η διατμητική δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας, ονομάζεται διατμητική τάση (21). Για τα περισσότερα από τα γνωστά υγρά, όπως και για τα αέρια, ισχύει η σχέση:

$$\text{Διατμητική τάση} = \mu \times \text{Ρυθμός διατμησης}$$



Εικόνα 9: Διάτμηση (22)

Δηλαδή, η διατμητική τάση που αναπτύσσεται σε ένα τέτοιο ρευστό όταν υφίσταται σταθερή διάτμηση, είναι ευθέως ανάλογη προς το ιζώδες του. Τα ρευστά αυτά ονομάζονται νευτωνικά. Αντίθετα, τα ρευστά για τα οποία δεν ισχύει η ανωτέρω σχέση, ονομάζονται μη νευτωνικά και σε αυτά, η εξάρτηση της ιζώδους τάσης από το ρυθμό παραμόρφωσης του ρευστού είναι μη γραμμική.

Συνεπώς, η καμπύλη ροής³ των μη νευτωνικών ρευστών δεν είναι ευθεία γραμμή. Αυτό σημαίνει, ότι η κλίση της εξαρτάται εκτός από τη θερμοκρασία και την πίεση, και από το ρυθμό γωνιακής παραμόρφωσης (ή ρυθμό διάτμησης) του ρευστού. Σε ορισμένα μη νευτωνικά ρευστά, η κλίση της καμπύλης ροής εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως το χρόνο διάτμησης του ρευστού ή ακόμη και τη γεωμετρία του χώρου όπου βρίσκεται το διατεμνόμενο ρευστό. Έτσι, το ιξώδες ως έννοια, δεν έχει νόημα στην περίπτωση των μη νευτωνικών ρευστών, έχει νόημα μόνον όταν συνδέεται με κάποιο συγκεκριμένο ρυθμό διάτμησης (23).

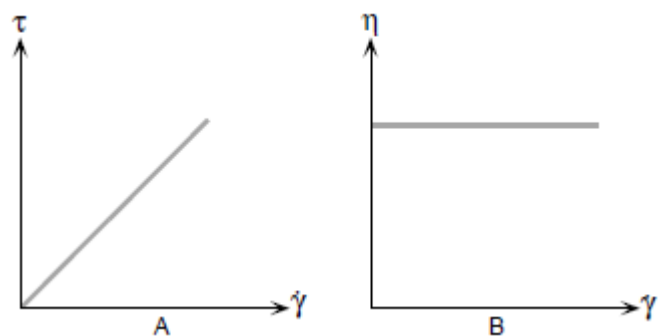
Για το λόγο αυτό, εισάγεται η έννοια του φαινόμενου ιξώδους (μ_ϕ), το οποίο ορίζεται ως ο λόγος της διατμητικής τάσης τ_{yx} προς τον αντίστοιχο ρυθμό διάτμησης $\dot{\gamma}_{yx}$ του ρευστού:

$$\mu_\phi = \frac{\tau_{yx}}{\dot{\gamma}_{yx}}$$

Η νευτωνική συμπεριφορά (γραμμική καμπύλη), συναντάται στις ρητίνες, στα χρώματα πούδρας και στις πίσσες. Διατμητική λέπτυνση εμφανίζουν τα χρώματα, ενώ διατμητική πάχυνση τα πολυμερή με υψηλή συγκέντρωση latex ή με υψηλής συγκέντρωσης διασπορές, π.χ. πάστες χρωστικών. Όσο δεν υπάρχει εφελκυστικό φορτίο, οι καμπύλες ροής διέρχονται από την αρχή των αξόνων, ενώ οι καμπύλες ιξώδους στην αρχή τους είναι σταθερές, όπως φαίνεται στα χαρακτηριστικά διαγράμματα (14).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα είδη των ρευστών, όπως ταξινομούνται σε σχέση με το ιξώδες τους:

Νευτωνικά υγρά: Το ιξώδες αυτών των υγρών δεν εξαρτάται από το ρυθμό διάτμησης, γεγονός που σημαίνει ότι για κάθε ταχύτητα περιστροφής, το ιξώδες είναι το ίδιο. Μόνο η θερμοκρασία επηρεάζει το ιξώδες. Μεταβολή της θερμοκρασίας κατά 1°C, μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στο ιξώδες έως 10%.



Διάγραμμα 3: Καμπύλη ροής (A) και καμπύλη ιξώδους (B) νευτωνικών ρευστών (25)

³ **Καμπύλη ροής:** Μια καμπύλη ροής εκφράζει τη διατμητική τάση ως συνάρτηση του βαθμού διάτμησης $\dot{\gamma}$.

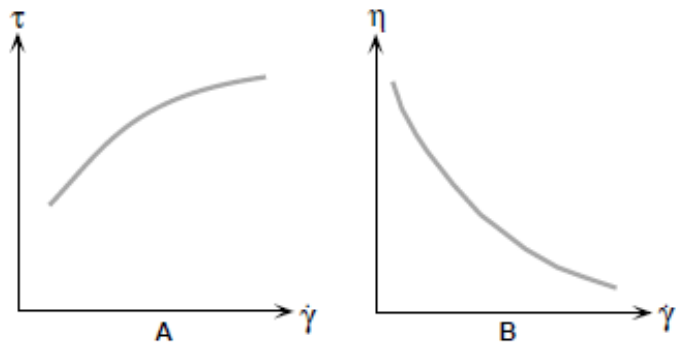
Καμπύλη ιξώδους: Η καμπύλη ιξώδους μας δείχνει το ιξώδες ως συνάρτηση του βαθμού διάτμησης $\dot{\gamma}$. Το διάγραμμα συνήθως είναι διπλά λογαριθμικό.

Μη νευτώνικα υγρά: Το ιξώδες αυτού του είδους των προϊόντων αλλάζει με την ταχύτητα περιστροφής. Λόγω αυτής της αστάθειας, χρησιμοποιείται ο όρος Apparent ιξώδες. Τα μη νευτώνικα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, εξαρτημένα και ανεξάρτητα του χρόνου (24).

Ανεξάρτητα του χρόνου μη νευτώνικα ρευστά

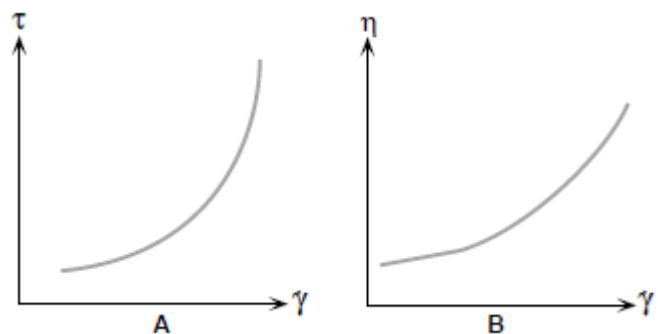
Το ιξώδες ενός ανεξάρτητο του χρόνου μη νευτώνικού ρευστού, εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη βαθμίδα ταχύτητας.

Ψευδοπλαστικά ρευστά: Το ιξώδες μειώνεται όσο η βαθμίδα ταχύτητας αυξάνεται. Χαρακτηριστικά παραδείγματα: χρώματα, σαμπουάν, χυμοί φρούτων, πολυμερή, κόλλες κτλ. (24).



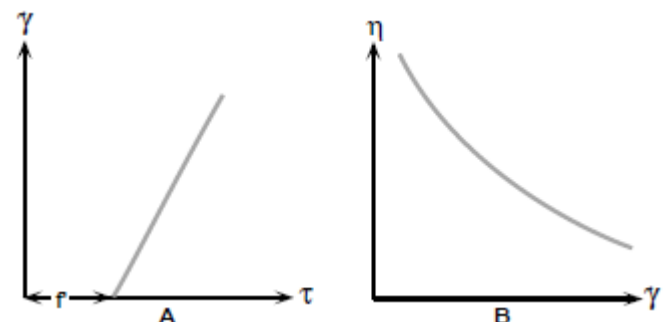
Διάγραμμα 4: Καμπύλη ροής (A) και καμπύλη ιξώδους (B) ψευδοπλαστικών ρευστών (25)

Διασταλτικά ρευστά: Το ιξώδες αυξάνεται με τη βαθμίδα ταχύτητας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα: πηλός, γλυκά συστατικά κτλ. (24).



Διάγραμμα 5: Καμπύλη ροής (A) και καμπύλη ιξώδους (B) διασταλτικών ρευστών (25)

Πλαστικά ρευστά: Αυτά τα ρευστά, αρχίζουν να ρέουν, μόνο αν τεθούν κάτω από συγκεκριμένη διατμητική δύναμη. Συμπεριφέρονται σαν στερεά σε σταθερές συνθήκες, π.χ. η κέτσαπ. (24).

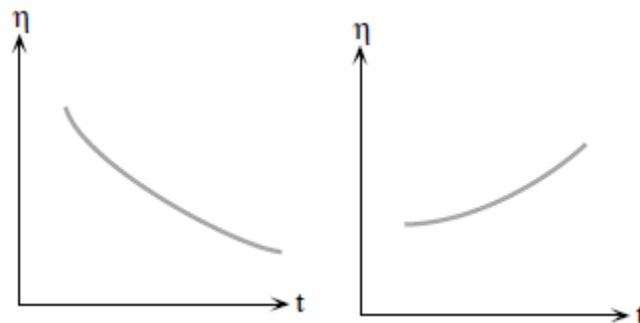


Διάγραμμα 6: Καμπύλη ροής (A) και καμπύλη ιξώδους (B) πλαστικών ρευστών (25)

Χρονικώς εξαρτώμενα μη νευτωνικά ρευστά

Το ιξώδες αυτών των ρευστών εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη βαθμίδα ταχύτητας και το χρόνο.

Θιξοτροπικά και ρεοπηκτικά ρευστά: Το ιξώδες μειώνεται με το χρόνο όταν το ρευστό υποβάλλεται σε μια συγκεκριμένη βαθμίδα ταχύτητας. Τείνουν να επιστρέψουν στο προηγούμενο ιξώδες τους, μόλις η βαθμίδα ταχύτητας αναιρεθεί, π.χ. προϊόντα βιομηχανίας τροφίμων. Αντίστοιχα συμπεριφέρονται και τα ρεοπηκτικά ρευστά, με τη διαφορά ότι το ιξώδες τους αυξάνεται με το χρόνο. Τα συγκεκριμένα είναι σπάνια (24).



Διάγραμμα 7: Θιξοτροπική συμπεριφορά ρευστών (αριστερά) και ρεοπηκτική συμπεριφορά ρευστών (δεξιά) (25)

5.3. Θιξοτροπία

Θιξοτροπικά ρευστά ονομάζονται τα μη νευτωνικά ρευστά το φαινόμενο ιξώδες των οποίων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου όταν υφίστανται διάτμηση με σταθερό ρυθμό (σε σταθερές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας). Σε κατάσταση ηρεμίας, τα θιξοτροπικά ρευστά έχουν μια ορισμένη ελαστική δομή η οποία χαρακτηρίζεται από κάποιο βαθμό ακαμψίας. Όταν ένα θιξοτροπικό ρευστό υποβάλλεται σε συνεχή διάτμηση, με σταθερό ρυθμό, η δομή του αρχίζει να καταστρέφεται, με αποτέλεσμα το ρευστό να γίνεται λιγότερο ιξώδες. Η καταστροφή αυτή οφείλεται στη μηχανική λύση των δεσμών που συνδέουν τις δομικές μονάδες του ρευστού. Ο ρυθμός καταστροφής της δομής του ρευστού εξαρτάται από τον αριθμό των παρόντων δεσμών, οι οποίοι, κάθε στιγμή, προσφέρονται για μηχανική διάσπαση. Ο αριθμός αυτός μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, με αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση του ιξώδους του ρευστού.

Όμως, παράλληλα με τη λύση, αρχίζει ο επανασχηματισμός δεσμών από τις ελεύθερες δομικές μονάδες του ρευστού. Ο ρυθμός αποκατάστασης της δομής αυξάνεται με το χρόνο, λόγω της αύξησης των ελεύθερων δομικών μονάδων (που προέρχονται από την καταστροφή της δομής). Τελικά, σε κάποια στιγμή, ο ρυθμός καταστροφής και ο ρυθμός αποκατάστασης της δομής του ρευστού, γίνονται ίσοι, οπότε αποκαθίσταται μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Από τη στιγμή εκείνη και μετά, το φαινόμενο ιξώδες του ρευστού παραμένει σταθερό. Η τιμή του ιξώδους μ_p στην κατάσταση δυναμικής ισορροπίας εξαρτάται από το μέγεθος του ρυθμού διάτμησης του ρευστού. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός διάτμησης, τόσο μικρότερη είναι η τελική τιμή του φαινόμενου ιξώδους.

Ένα καλό χρώμα βαφής της επιφάνειας στερεών πρέπει να είναι θιξοτροπικό, ώστε όταν είναι στο κουτί του να είναι πολύ ιξώδες για να μη διαχωρίζεται (καθιζάνει) η χρωστική ουσία από το διαλυτικό μέσο, όταν ανακατεύεται να γίνεται λεπτόρευστο για να απλώνεται εύκολα στην επιφάνεια κατά το βάνσιμο και αμέσως μετά τη χρησιμοποίησή του να ξαναγίνεται παχύρευστο για να συγκρατείται πάνω στη βαμμένη επιφάνεια, ώστε το βάνισμό της να παραμένει ομοιόμορφο.

Για την πειραματική μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς θιξοτροπικών ρευστών χρησιμοποιούμε το περιστροφικό ιξωδόμετρο Couette. Το ρευστό τοποθετείται στο χώρο μεταξύ των δυο κυλίνδρων του ιξωδόμετρου και αφήνεται να ηρεμήσει αρκετό χρόνο, ώστε να αποκατασταθεί πλήρως η εσωτερική δομή του. Στη συνέχεια, τίθεται σε λειτουργία το ιξωδόμετρο, ώστε το ρευστό να διατέμνεται με σταθερό ρυθμό $\dot{\gamma}$ και μετριέται η απαιτούμενη προς τούτο εξωτερική ροπή M , σε συνάρτηση με το χρόνο t .

Για δεδομένο χρόνο διάτμησης, η ροπή M (άρα και το ιξώδες του ρευστού), μειώνεται συνεχώς, και από κάποιο σημείο και πέρα, παραμένει σταθερή. Ο ρυθμός μείωσης και η τελική τιμή της ροπής εξαρτώνται από το ρυθμό διάτμησης του ρευστού, ο οποίος καθορίζεται από την ταχύτητα περιστροφής του εξωτερικού κυλίνδρου του ιξωδόμετρου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός διάτμησης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η μεταβολή του μεγέθους της ροπής (23).

5.4. Κάθετες τάσεις (normal stress effects)

Όταν η ράβδος περιστραφεί μέσα σε ένα Νευτώνειο υγρό, οι δυνάμεις αδράνειας (inertial forces) το προκαλούν να κινηθεί μακριά από την ράβδο. Εάν μία μικρή ποσότητα πολυμερούς προστεθεί, τότε το ρευστό θα σκαρφαλώσει στην ράβδο. Η κίνηση του ρευστού προκαλεί μία τάση στην αζιμουθιακή (κυκλική) κατεύθυνση (hoop stresses), και αυτή η τάση προκαλεί με την σειρά της μία πίεση προς το κέντρο, η οποία τελικά οδηγεί το ρευστό να σκαρφαλώσει πάνω στην ράβδο.

Μία ράβδος που περιστρέφεται μέσα σε ένα Νευτώνειο υγρό προκαλεί ένα στρόβιλο που οδηγεί το ρευστό μακριά από την ράβδο. Το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση ενός μη-Νευτώνειου ρευστού λόγω της παρουσίας των αζιμουθιακών (κυκλικών) τάσεων (hoop stresses, normal stresses) (19).



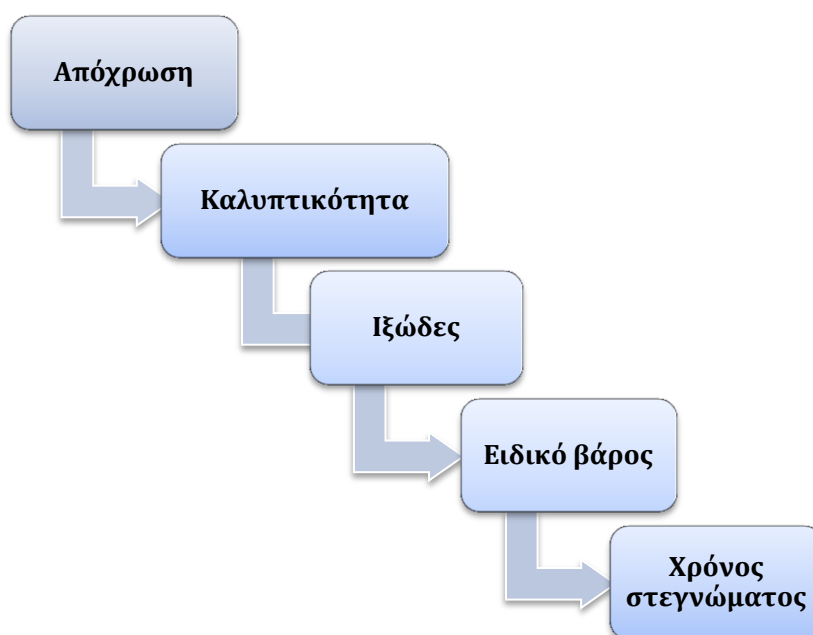
Εικόνα 10: Αριστερά: Νευτωνικό Ρευστό - Φυγόκεντρη δύναμη. Δεξιά: Πολυμερικό διάλυμα/Τήγμα - Εντροπική ελαστικότητα αλυσίδων που οδηγεί σε κάθετες δυνάμεις (22)

Β. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στο πειραματικό μέρος, πρόκειται να παρουσιαστούν μέθοδοι ποιοτικού ελέγχου, που εφαρμόζονται κυρίως κατά τη διάρκεια της παραγωγής βιομηχανικών και ναυτιλιακών χρωμάτων. Έχει δοθεί έμφαση στη μελέτη του ιξώδους, το οποίο αναλύεται διεξοδικά και εφαρμόζονται όλες οι τεχνικές που είναι δυνατόν να δώσουν δεδομένα ιξώδους, μέσω του περιστροφικού ιξωδομέτρου τύπου Brookfield (25). Η πλειοψηφία των ποιοτικών ελέγχων αναφέρονται σε υγρή βάση.

Συγκρίσεις έχουν πραγματοποιηθεί για αποθηκευμένα προϊόντα, ώστε να γίνει φανερή η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στις ιδιότητες του τελικού χρώματος, για τα έτοιμα προϊόντα (τελικά χρώματα) και για τις πρώτες ύλες. Η τελευταία δοκιμή ποιοτικού ελέγχου που αφορά την οπτική μικροσκοπία, πραγματοποιείται επί ξηρής βάσης, με στόχο να προσδιοριστούν τα σφάλματα της παραγωγής που προκύπτουν κατά την εφαρμογή του χρώματος και δε γίνονται αντιληπτά κατά τους αρχικούς ποιοτικούς ελέγχους της παραγωγικής διαδικασίας.

Στο παρακάτω διάγραμμα ροής, παρουσιάζεται η σειρά με την οποία πραγματοποιούνται οι ποιοτικοί έλεγχοι κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει επικεντρωθεί στη μελέτη του ιξώδους, επομένως, αρχικά παρουσιάζονται τα δεδομένα ιξώδους των χρωμάτων και των ρητινών και ακολουθούν τα αποτελέσματα ποιοτικού ελέγχου με τις υπόλοιπες τεχνικές.



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα ροής ποιοτικών ελέγχων κατά τη διάρκεια της παραγωγής

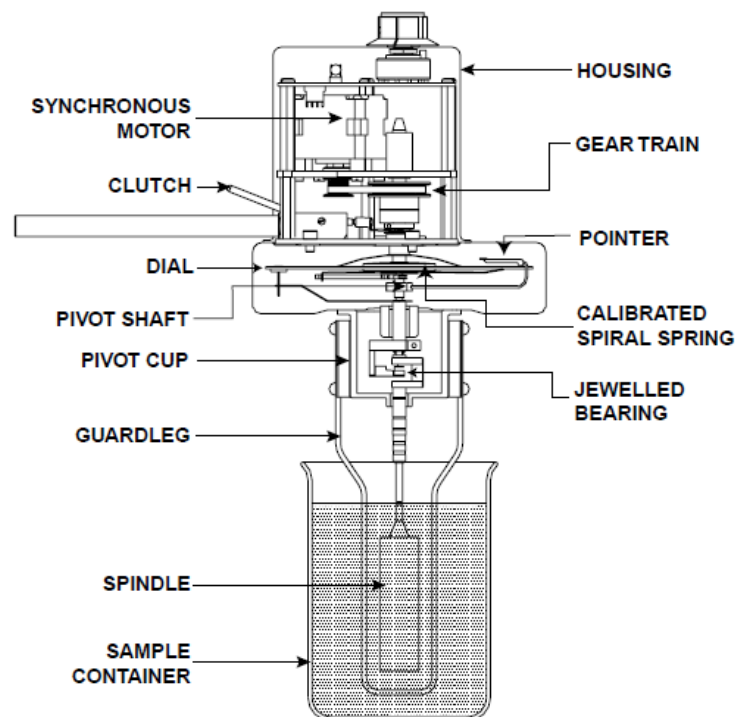
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μελέτη ιξώδους

6.1. Οργανολογία

6.1.1. Περιστροφικό ιξωδόμετρο

Αρχή λειτουργίας

Το ηλεκτρονικό ιξωδόμετρο HAAKE Viscotester C (τύπου L – χαμηλού ιξώδους), είναι ένα περιστροφικό ιξωδόμετρο, που βασίζεται στη μέτρηση της ροπής ενός περιστρεφόμενου άξονα που βρίσκεται βυθισμένος μέσα στο δείγμα, για μια συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής. Το περιστροφικό ιξωδόμετρο χρησιμοποιείται κυρίως για τον προσδιορισμό των ρεολογικών ιδιοτήτων των μη – νευτωνικών διαλυμάτων και επιστρώσεων και ιδιαίτερα όσων εμφανίζουν θιξοτροπικά χαρακτηριστικά. Η μέθοδος αποτελείται από μια σειρά προκαθορισμένων μετρήσεων ιξώδους, που πραγματώνονται χρησιμοποιώντας το περιστροφικό ιξωδόμετρο για χρώμα ή άλλο υλικό με θιξοτροπικές ή χρονικά εξαρτώμενες ρεολογικές ιδιότητες (26).

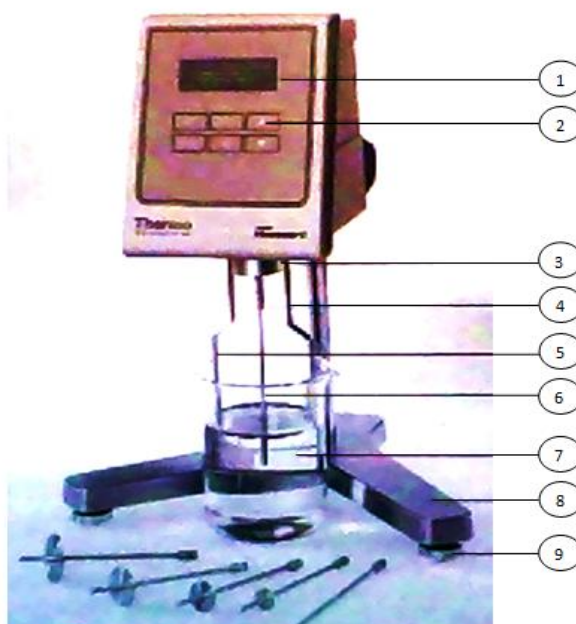


Διάγραμμα 9: Αρχή λειτουργίας περιστροφικού ιξωδομέτρου (25)

Πειραματική διάταξη

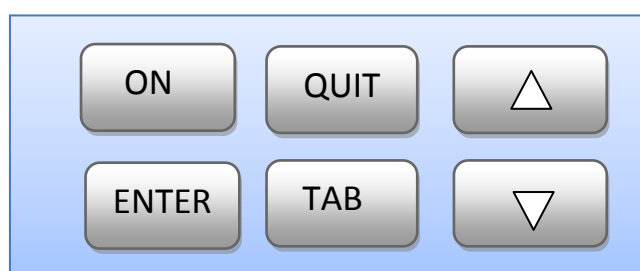
Το ηλεκτρονικό ιξωδόμετρο HAAKE Viscometer C αποτελείται από:

1. Οθόνη
2. Πληκτρολόγιο χειρισμού
3. Υποδοχέα
4. Σπείρωμα υποδοχής
5. Προστατευτικό άξονα
6. Άξονα
7. Δοχείο δείγματος
8. Βάση στήριξης
9. Προσαρμογέα ύψους
10. Διακόπτη (στην πίσω όψη)



Εικόνα 11: Ηλεκτρονικό ιξωδόμετρο HAAKE VISCOTESTER C

Το πληκτρολόγιο έχει την ακόλουθη μορφή:



Εικόνα 12: Πληκτρολόγιο του ιξωδομέτρου HAAKE

Πίνακας 10: Λειτουργίες πληκτρολογίου

Σύμβολο	Λειτουργία
△	Πηγαίνει στην προηγούμενη επιλογή. Αυξάνει μια τιμή όταν έχει επιλεγεί ένα πεδίο.
▽	Πηγαίνει στην επόμενη επιλογή. Μειώνει μια τιμή όταν έχει επιλεγεί ένα πεδίο.
TAB	Επιλογή πεδίων σε ορισμένα μενού.
QUIT	Επιστροφή σε προηγούμενη οθόνη. Τερματισμός μέτρησης.
ENTER	Αποδοχή μιας επιλογής ή τιμής σε ένα πεδίο.
ON	Έναρξη/Τερματισμός

Για τις βιομηχανικές μετρήσεις ιξώδους των χρωμάτων, καθώς επίσης και για τον έλεγχο των προδιαγραφών των ρητινών, επιλέγεται η χρήση των αξόνων σειράς L (Low Viscosity). Η σειρά L περιλαμβάνει τέσσερις κυλινδρικούς άξονες διαφορετικής γεωμετρίας, όπως αυτοί απεικονίζονται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 13: Άξονες τύπου L, περιστροφικού ιξωδομέτρου HAAKE Viscotester C (16)

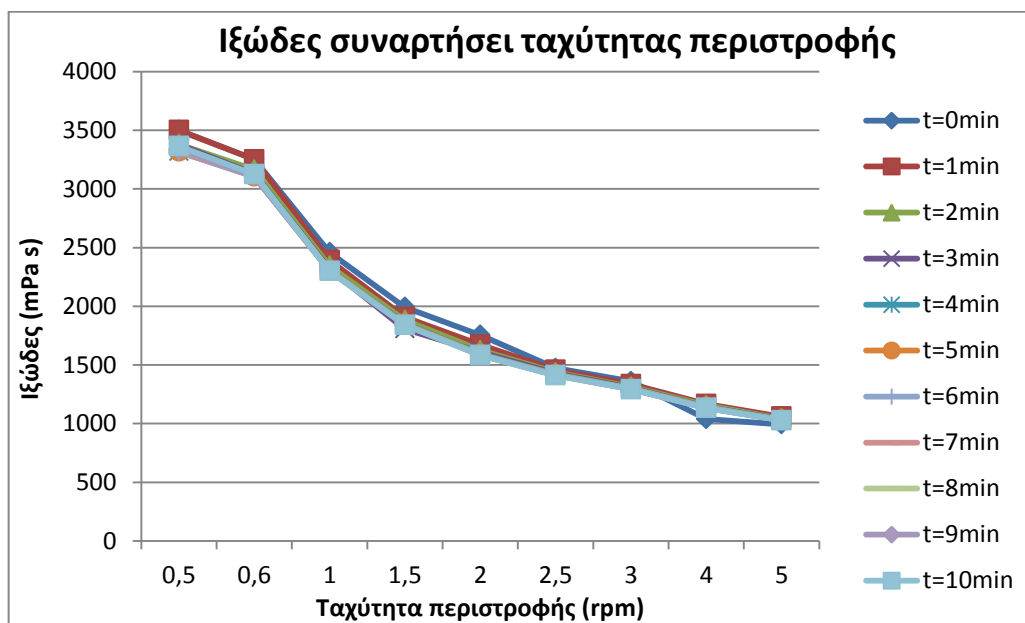
Πειραματική διαδικασία

Αρχικά το όργανο συνδέεται με την παροχή ρεύματος. Στη συνέχεια ενεργοποιείται και βαθμονομείται αυτόματα, παίρνοντας τυφλή μέτρηση, χωρίς να έχει τοποθετηθεί κανένας άξονας στην υποδοχή. Το δείγμα στις περισσότερες των περιπτώσεων, τοποθετείται σε πλαστικό κυλινδρικό δοχείο από πολυπροπυλένιο, διαμέτρου 7.5cm και ύψους 12cm. Σε αυτή την περίπτωση, η τιμή του ιξώδους είναι υψηλότερη από τη συνηθισμένη, ειδικότερα για ρευστά χαμηλού ιξώδους. Ακολούθως, αφού τοποθετηθεί το προστατευτικό των αξόνων, ρυθμίζεται το ύψος του οργάνου, ώστε έκαστος άξονας να βρίσκεται βυθισμένος μέσα στο δείγμα μέχρι την ειδική χαραγή.

Για τις ρητίνες, αφού το όργανο τεθεί σε λειτουργία, η μέτρηση λαμβάνεται απευθείας για τον άξονα L1, μετά από τρεις αλλαγές της ένδειξης για τον άξονα L2, ενώ μετά από 2min για τους άξονες L3 & L4. Ανάμεσα σε κάθε αλλαγή ταχύτητας, το δείγμα αφήνεται να ηρεμήσει για ένα χρονικό διάστημα 5-10min. Για κάθε μέτρηση με διαφορετικό άξονα, χρησιμοποιείται και διαφορετικό δείγμα.

Αντιθέτως, για τα χρώματα, επειδή παρατηρείται ανάγκη σταθεροποίησης της μετρούμενης τιμής, τα αποτελέσματα λαμβάνονται μετά από 15min όταν χρησιμοποιείται ο άξονας L1, ύστερα από 10min για τον L2 άξονα, μετά από 5min όταν χρησιμοποιείται ο L3 και μόλις μετά από 3min, σε περίπτωση χρήσης του L4.

Ο λόγος που επιλέγεται η συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία, είναι για εξοικονόμηση χρόνου, αφού για χαμηλές στροφές περιστροφής, της τάξης των 0.1 rpm – 0.6 rpm, απαιτείται πολύς χρόνος έως ότου εμφανιστεί το αποτέλεσμα της μέτρησης στο ιξωδόμετρο.⁴ Σε μια μονάδα παραγωγής, ο χρόνος που απαιτείται για τον ποιοτικό έλεγχο, παίζει έναν κρίσιμο παράγοντα για τη διεξαγωγή όλης της παραγωγικής διαδικασίας. Βέβαια, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα, το οποίο έχει προκύψει μετά από αρκετές δοκιμαστικές μετρήσεις, γίνεται φανερό ότι στην πράξη δεν εμφανίζονται έντονες διαφορές στα αποτελέσματα των μετρήσεων, όποια χρονική στιγμή και αν αυτά ληφθούν.



Διάγραμμα 10: Μετρούμενες τιμές ιξώδους σε ταχυστέγνωτο αλκυδικό χρώμα, για χρόνους λήψης μέχρι 10min

Όπως γίνεται φανερό, η τάση που παρουσιάζει ιξώδες σε σχέση με την ταχύτητα περιστροφής, δηλαδή σε συνάρτηση με τη διατμητική τάση, είναι η ίδια, όσος χρόνος και αν περάσει και οποιαδήποτε στιγμή και αν ληφθεί η μέτρηση. Επομένως, η τιμή του ιξώδους εμφανίζει πολύ μικρές διαφορές, αν η μέτρηση ληφθεί αμέσως ή αν το όργανο αφεθεί σε λειτουργία για 10min. Το παρατηρούμενο σφάλμα επομένως είναι πολύ μικρό.

Επιλέγεται έτσι, ειδικότερα για τις σχετικές μετρήσεις ιξώδους (25), η πειραματική διαδικασία που αναλύθηκε ανωτέρω, που συνδυάζει ταχύτητα και αξιοπιστία. Βέβαια, σε ειδικές περιπτώσεις, όταν απαιτείται η μελέτη συγκεκριμένου φαινομένου, όπως λόγου χάρη η θιξοτροπία που αναλύεται στη συνέχεια, η πειραματική διαδικασία διαφοροποιείται.

⁴ Να σημειωθεί, ότι το όργανο εμφανίζει το αποτέλεσμα της μέτρησης, μετά από τρεις πλήρεις περιστροφές του άξονα. Επομένως, για 0,1rpm η μία πλήρης περιστροφή συμπληρώνεται μετά από 10 min, ενώ οι τρεις πλήρεις περιστροφές θα συμπληρωθούν μετά την πάροδο 30min.

6.1.2. Κύπελλο ροής

Αρχή λειτουργίας

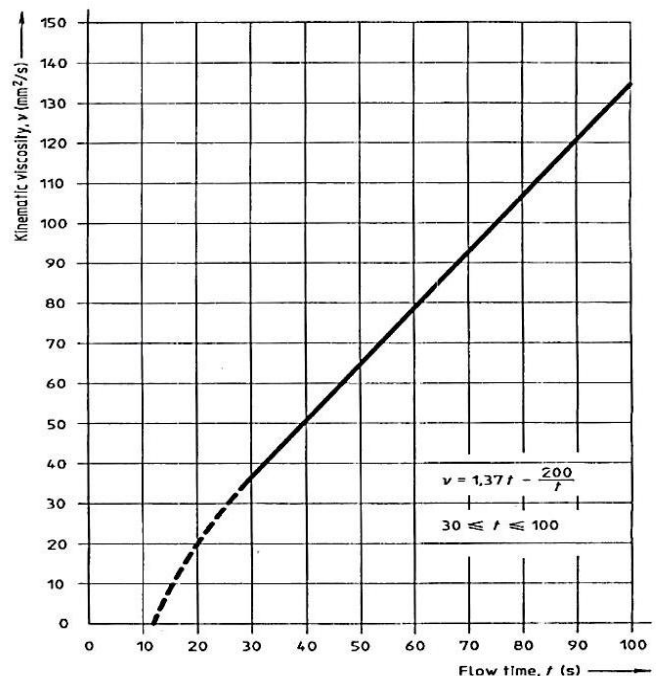
Το κύπελλο ροής ή κύπελλο ιξώδους, είναι μια απλή συσκευή βαρύτητας, που μετρά το χρόνο ροής ρευστού, συγκεκριμένου όγκου, διαμέσου ακροφυσίου, στον πάτο του κυπέλλου. Κάτω από ιδανικές συνθήκες, ο ρυθμός της ροής είναι ανάλογος του κινηματικού ιξώδους (εκφρασμένο σε Stokes ή centistokes), καθώς εξαρτάται από το ειδικό βάρος του ρευστού. Για πολλές εφαρμογές, δεν είναι απαραίτητη η γνώση του απόλυτου ιξώδους.

Τουλάχιστον 50 τύποι κυπέλλων ροής έχουν κατασκευαστεί και χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια, κυρίως για έλεγχο της παραγωγής και ανάλυσης πεδίου. Τα περισσότερα από αυτά, ανήκουν σε δυο βασικούς τύπους:

- στερεωμένα και τοποθετημένα σε βάση
- ελεύθερα, που εμβαπτίζονται απευθείας στο ρευστό

Ανεξάρτητα από τον τύπο που χρησιμοποιείται, υπάρχουν ορισμένες βασικές αρχές που διέπουν τη διαδικασία μέτρησης:

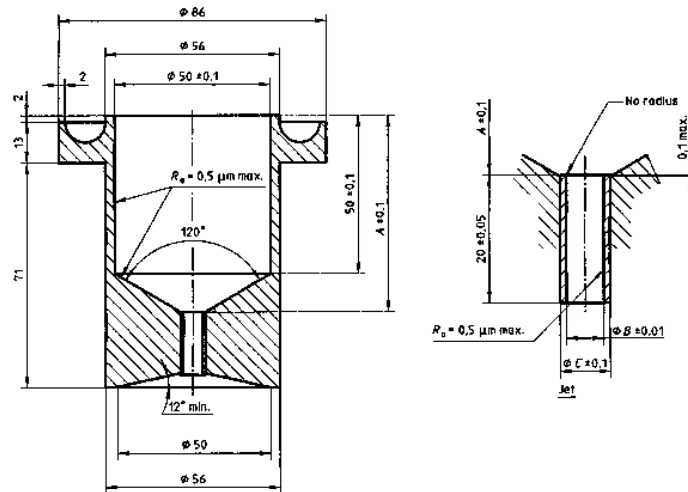
- Διορθώσεις πρέπει να γίνονται, όταν μετρούνται θιξοτροπικά ή μη-νευτώνεια ρευστά, καθώς δεν υφίσταται συγκεκριμένος ρυθμός διάτμησης που να μπορεί να αναπαραχθεί σε κύπελλο ροής.
- Η διάμετρος της οπής πρέπει να επιλέγεται και να διατηρείται, ώστε να παρέχει χρόνους ροής μέσα σε προκαθορισμένα ανώτατα και κατώτατα όρια.
- Η θερμοκρασία του μετρούμενου ρευστού πρέπει να ελέγχεται και να μετράται στη φλέβα ροής, αφότου περνά το σύνορο που δεν επηρεάζει τη ροή της.



Διάγραμμα 11: Καμπύλη βαθμονόμησης για ακροφύσιο 4mm (27)

Πειραματική διάταξη

Το κύπελλο ροής, είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα, χρησιμοποιώντας το μετρικό σύστημα. Μπορεί να χωρέσει συγκεκριμένο όγκο, 100ml. Υπάρχει ένα ποσοστό ανοχής 0,1% (27).



Διάγραμμα 12: Κατασκευαστικά σχέδια flow cup (27)

Πειραματική διαδικασία

- Τοποθετούμε το κύπελλο ροής σε σταθερή οριζόντια θέση, χρησιμοποιώντας δακτύλιο στήριξης.
- Κλείνουμε τη διατομή.
- Πληρώνουμε το κύπελλο με χρώμα.
- Με μια καθαρή, λεία γυάλινη επιφάνεια, απομακρύνουμε το περισσευούμενο χρώμα από τον υπερχειλιστήρα και εν συνεχεία κλείνουμε το κύπελλο.
- Ανοίγουμε τη διατομή.
- Απομακρύνουμε το γυάλινο καπάκι και θέτουμε σε λειτουργία το χρονόμετρο.
- Σταματάμε το χρονόμετρο την πρώτη φορά που παρατηρούμε διακοπή στη ροή του χρώματος.
- Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία τρεις φορές και ως αποτέλεσμα παίρνουμε τον μέσο όρο των μετρήσεων (16).



Εικόνα 14: Κύπελλο ροής DIN CUP #4# (16)

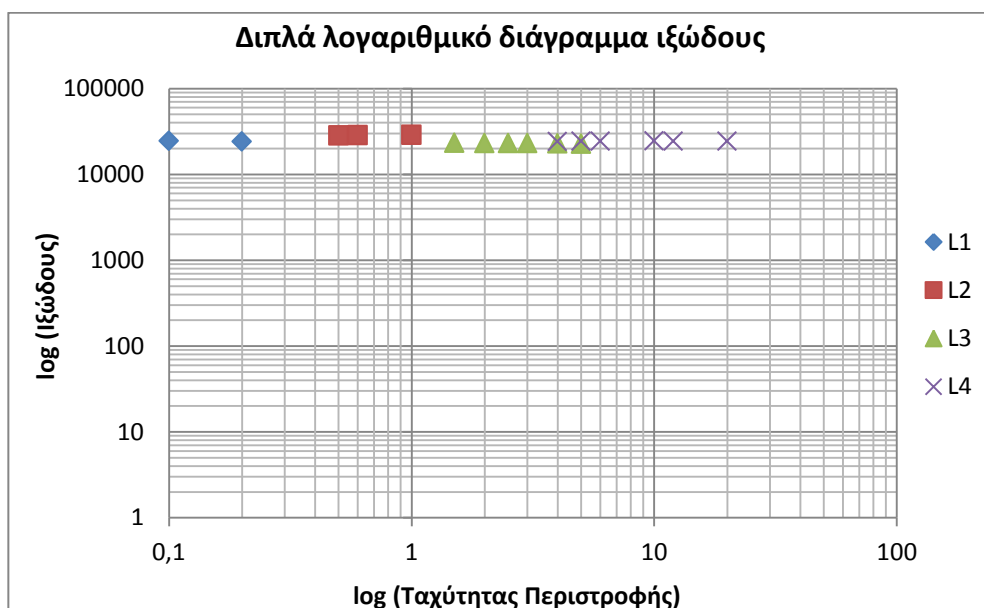
6.2. Ποιοτικός έλεγχος Α' Υλών

Ο ποιοτικός έλεγχος στην παραγωγή οποιουδήποτε προϊόντος ξεκινά πάντα από τον έλεγχο των Α' υλών. Είναι απαραίτητο να διακριβώνονται τα χαρακτηριστικά που υπαγορεύονται από το τεχνικό δελτίο προδιαγραφών και παράλληλα να εντοπίζονται τυχόν αποκλίσεις, ώστε να μπορεί να τροποποιηθεί κατάλληλα η συνταγή του παραγόμενου χρώματος.

6.2.1. Νευτώνεια συμπεριφορά ρητινών

Οι ρητίνες ως λάδια, όπως έχει ερευνηθεί και στη βιβλιογραφία (24), παρουσιάζουν νευτώνεια συμπεριφορά. Αυτό δηλώνει, ότι το ιξώδες τους δεν μεταβάλλεται σε σχέση με την ταχύτητα περιστροφής, επομένως η καμπύλη ιξώδους είναι μια ευθεία γραμμή, παράλληλη στον οριζόντιο άξονα.

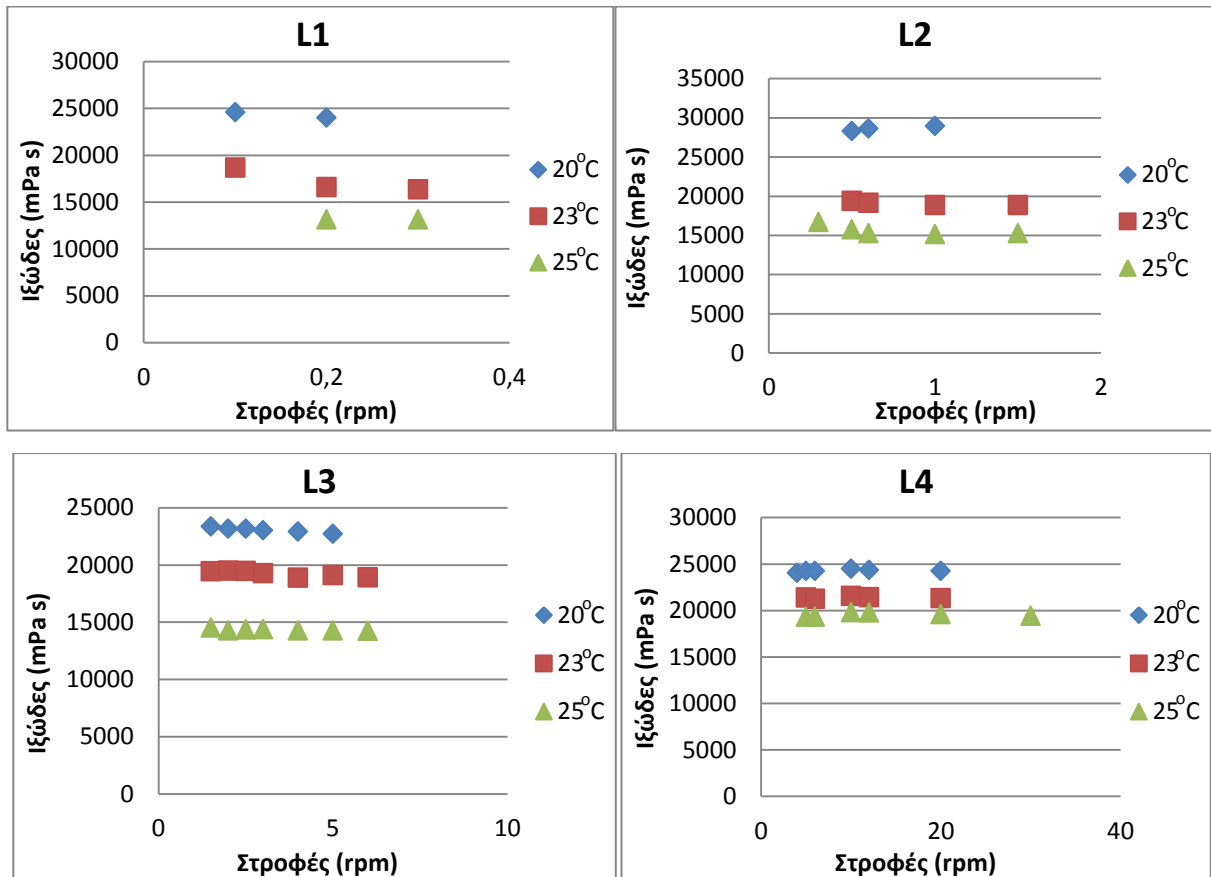
Για τη διακρίβωση, επιλέγεται η θερμοκρασία των 20°C (θερμοκρασία δωματίου) και επιχειρείται η κατασκευή ενός διπλού λογαριθμικού γραφήματος, το οποίο περιέχει όλες τις μετρηθείσες τιμές ιξώδους, σε όλες τις δυνατές ταχύτητες περιστροφής και για όλους τους άξονες. Το διάγραμμα καταστρώνεται διπλά λογαριθμικό, καθώς το εύρος μετρούμενων τιμών για κάθε άξονα είναι μεγάλο και οι ταχύτητες περιστροφής του ιξωδομέτρου κυμαίνονται από 0,1 – 200rpm, όπως παρουσιάζεται στο παράρτημα Ε1. Στο διπλά λογαριθμικό γράφημα, φαίνεται ξεκάθαρα ότι η διαφορετική γεωμετρία των αξόνων, δεν επηρεάζει τη μετρούμενη τιμή ιξώδους. Αυτό ισχύει αποκλειστικά για τα νευτώνεια ρευστά.



Διάγραμμα 13: Ιξώδες συναρτήσει ταχύτητας περιστροφής όλων των αξόνων του ιξωδομέτρου στους 20°C, για ρητίνη μεγάλου μήκους λαδιού, σε διπλά λογαριθμικό διάγραμμα

6.2.2. Θερμοκρασιακή εξάρτηση ιξώδους ρητινών

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι αυτή που παρουσιάστηκε στην §6.1.1. για τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Οι μετρήσεις, πραγματοποιήθηκαν για συγκριτικούς λόγους, σε 3 διαφορετικές θερμοκρασίες, στους 20°C, 23°C και 25°C, ώστε να αποδειχθεί επίσης ότι η διαφορά ενός βαθμού Κελσίου, μπορεί να επιφέρει μεταβολή ιξώδους της τάξης του 10% για νευτώνεια ρευστά. Μετρήσεις πραγματοποιούνται και με τους τέσσερις άξονες του ιξωδομέτρου.



Διάγραμμα 14: Ιξώδες ρητίνης μεγάλου μήκος λαδιού συναρτήσεως ταχύτητας περιστροφής για τους άξονες L1, L2, L3, L4 του περιστροφικού ιξωδομέτρου HAAKE Viscotester C

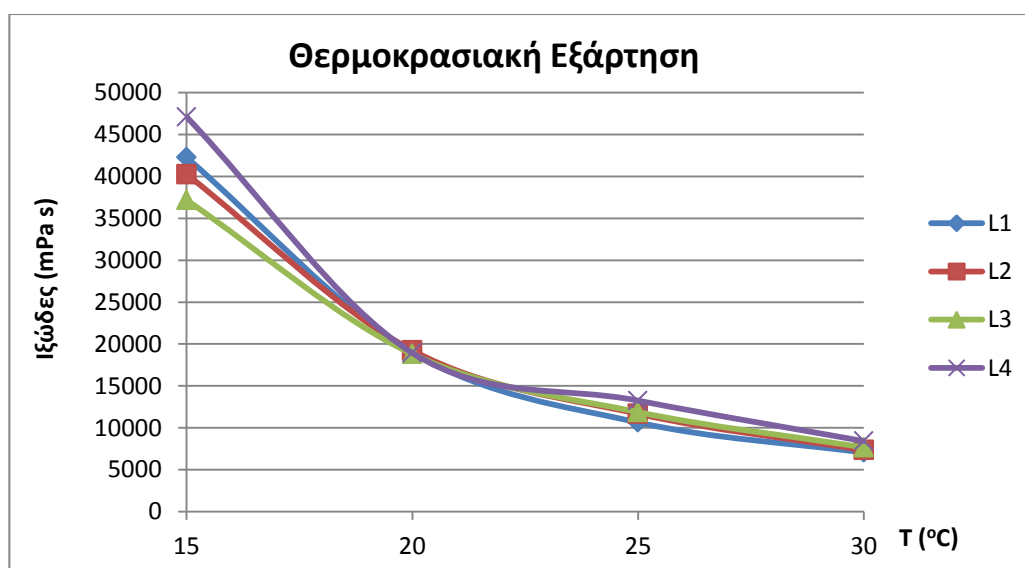
Όπως γίνεται φανερό από τα ανωτέρω διαγράμματα, οι τιμές ιξώδους για κάθε θερμοκρασία, εμφανίζουν μια σταθερή τάση και κυμαίνονται γύρω από μια συγκεκριμένη τιμή. Για το λόγο αυτό, ως ιξώδες ρητίνης θα ορίζεται από εδώ και στο εξής, ο μέσος όρος των μετρούμενων τιμών για το εύρος των ταχυτήτων περιστροφής που είναι δεκτό για τον εκάστοτε άξονα. Στον ακόλουθο πίνακα, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των τιμών ιξώδους της προηγούμενης ρητίνης, μαζί με την τυπική απόκλιση, η οποία στις περισσότερες των περιπτώσεων κυμαίνεται γύρω στα 400 mPa s και είναι μηδαμινή σε σχέση με την τάξη μεγέθους των τιμών.

Πίνακας 11: Μέσοι όροι τιμών ιξώδους (mPa s) με τυπικές αποκλίσεις, για τους τέσσερις άξονες του ιξωδομέτρου και τρεις κοντινές θερμοκρασίες.

Άξονας / Θερμοκρασία	20 °C	23 °C	25°C
L1	24291,5 ± 280,5	17201,3 ± 1045,.1	13150,5 ± 2,5
L2	28630,3 ± 269,5	19073,0 ± 220,3	15628,8 ± 568,6
L3	23050,8 ± 201,8	19218,6 ± 241,1	14331,3 ± 88,6
L4	24263,7 ± 139,7	21384,8 ± 106,7	19532,0 ± 196,8
Γενικός Μέσος Όρος:	25059,1 ± 222,9	19219,4 ± 403,3	15660,6 ± 214,1

Στην τελευταία σειρά του πίνακα, εμφανίζεται ένας γενικός μέσος όρος, ο οποίος παρουσιάζει τη γενική τιμή ιξώδους για την εκάστοτε θερμοκρασία. Η γενική τιμή ιξώδους υπολογίζεται καθ' αυτόν τον τρόπο, καθώς γίνεται αντιληπτό, ότι οι μέσοι όροι ιξώδους για κάθε άξονα είναι παραπλήσιοι. Οι τυπικές αποκλίσεις, δηλαδή το σφάλμα αυτής της θεώρησης, αγγίζουν μόλις το 2%. Όμως, είναι γνωστό ότι τα εύρη ιξώδους είναι ιδιαίτερα διευρυμένα και οι τιμές ιξώδους μπορούν να εμφανίζουν διακύμανση ίση με 5000 mPa s, επομένως το σφάλμα είναι ανεκτό.

Όπως αναφέρθηκε, για τα νευτώνεια ρευστά, μία μεταβολή κατά 1°C, επιφέρει 10% αλλαγή στην τιμή του ιξώδους. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της ρητίνης μεγάλου μήκους λαδιού που μελετήθηκε και εμφανίζει την ακόλουθη θερμοκρασιακή εξάρτηση.

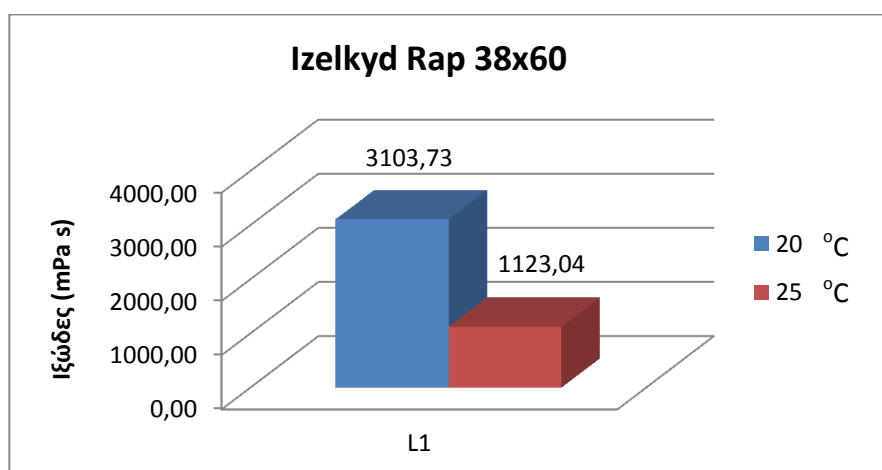


Διάγραμμα 15: Θερμοκρασιακή εξάρτηση ιξώδους για ρητίνη μεγάλου μήκους λαδιού

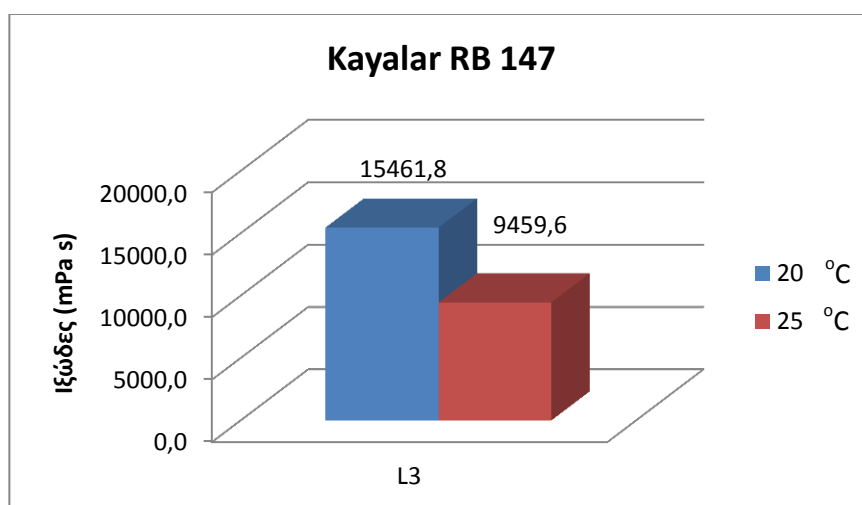
Αποδεικνύεται παράλληλα, ότι η συναρτησιακή σχέση ιξώδους – θερμοκρασίας, δεν είναι γραμμική, αλλά εκθετική. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται και για τους τέσσερις άξονες.

Αξιοσημείωτο είναι, ότι στους 20°C, η μετρούμενη τιμή ιξώδους συμπίπτει για όλους τους άξονες. Στις υπόλοιπες θερμοκρασίες όμως, και μάλιστα στις χαμηλότερες, οι τιμές ιξώδους ελαφρώς διαφοροποιούνται. Το γεγονός αυτό πιθανότατα οφείλεται στην αποσταθεροποίηση της θερμοκρασίας και στις εσωτερικές μεταβολές δομής που υφίσταται το πολυμερές κατά τη θέρμανση ή ψύξη του. Έτσι, η αντίσταση που επιφέρει η ρητίνη στους κυλινδρικούς άξονες μεγάλης επιφάνειας όπως οι L1 και L4, είναι μεγαλύτερη, απ' ό τι στους L2 και L3, επομένως για τους πρώτους άξονες το ιξώδες εμφανίζεται ελαφρώς αυξημένο.

Σε αντίθεση με τις ρητίνες μεγάλου μήκους λαδιού, όπως η Alkyd 65-60 SW HV που μελετήθηκε, οι ρητίνες μικρού μήκους λαδιού, εμφανίζουν μια διαφορετική εξάρτηση από τη θερμοκρασία. Στα παρακάτω διαγράμματα, εμφανίζονται χαρακτηριστικά παραδείγματα ρητινών μικρού μήκους λαδιού, που υποβάλλονται σε θερμικά τεστ.



Διάγραμμα 16: Μεταβολή ιξώδους για διαφορά θερμοκρασίας 5 °C για ρητίνη μικρού μήκους λαδιού Izelkyd Rap 38x60



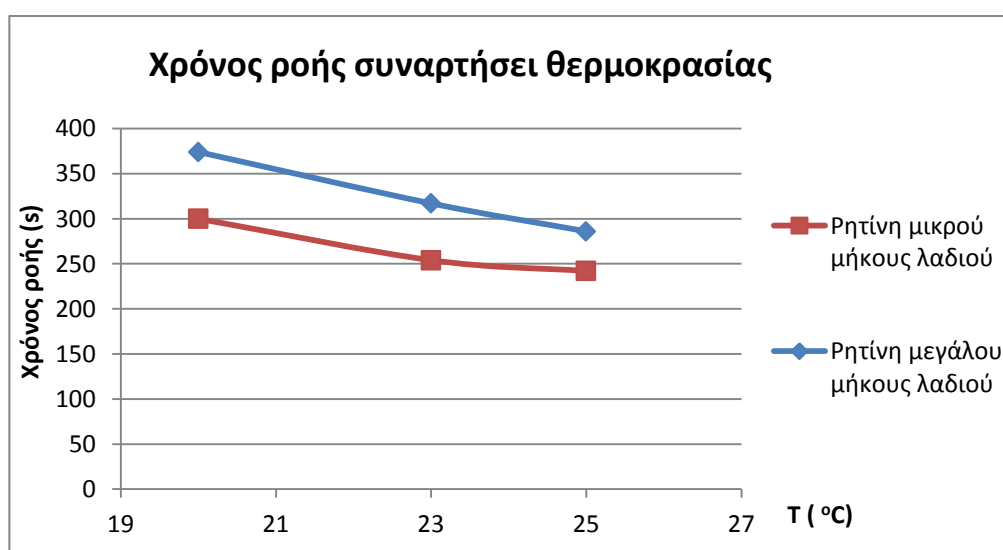
Διάγραμμα 17: Μεταβολή ιξώδους για διαφορά θερμοκρασίας 5 °C, για τη ρητίνη μικρού μήκους λαδιού Kayalar RB147

Στο πρώτο διάγραμμα παρουσιάζεται η εξάρτηση του ιξώδους της ρητίνης Izelkyd Rap 38x60, το οποίο μειώνεται κατά 64% με αύξηση της θερμοκρασίας κατά 5°C. Αντιθέτως, η ρητίνη Kayalar RB 147, εμφανίζει μια μείωση 40%, υποβαλλόμενη στο ίδιο θερμικό τεστ. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι οι ρητίνες μικρού μήκους λαδιού παρουσιάζουν διαφορές ως προς τη ρεολογική τους συμπεριφορά, συγκριτικά με τις ρητίνες μεγάλου μήκους λαδιού.

Τέλος, προκειμένου να γίνει μια σύγκριση ανάμεσα στις μεταβολές ιξώδους δύο ρητινών μεγάλου και μικρού μήκους λαδιού, κατασκευάζεται το ακόλουθο διάγραμμα. Όλες οι μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί με τη χρήση του κυπέλλου ροής και οι επιλεγμένες θερμοκρασίες μέτρησης είναι οι 20°C, 23°C και 25°C. Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε, είναι αυτή που περιγράφεται στην § 6.1.2.. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονιστεί, ότι για τη χρήση του κυπέλλου ροής για τη μέτρηση του ιξώδους ρητινών, είναι απαραίτητη η παρασκευή διαλύματος της ρητίνης, περιεκτικότητας 50% στον κατάλληλο διαλύτη. Για την αραιώση της ρητίνης μεγάλου μήκους λαδιού, χρησιμοποιείται White Spirit, ενώ για τη ρητίνη μικρού μήκους λαδιού, κατάλληλος διαλύτης είναι η ξυλόλη.

Πίνακας 12: Μετρήσεις χρόνου ροής συναρτήσει θερμοκρασίας με DIN CUP #4 για δύο ρητίνες

Θερμοκρασία (°C)	Χρόνος Ροής (s)	
	Ρητίνη μεγάλου μήκους λαδιού	Ρητίνη μικρού μήκους λαδιού
20	374	300
23	317	254
25	286	242

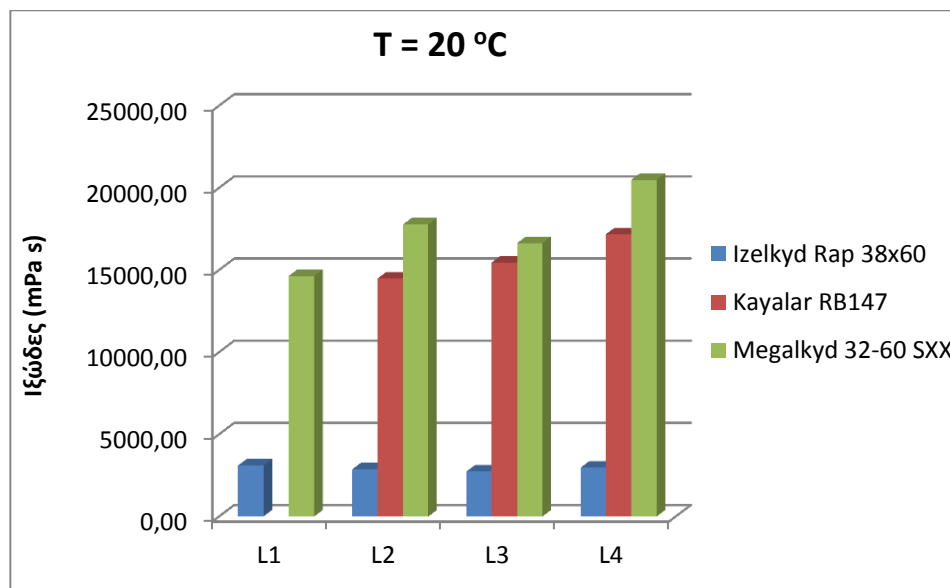


Διάγραμμα 18: Συγκριτική παράθεση μεταβολής ιξώδους ως προς τη θερμοκρασία, για ρητίνες μεγάλου και μικρού μήκους λαδιού.

6.2.3. Σύγκριση ιξώδους ρητινών

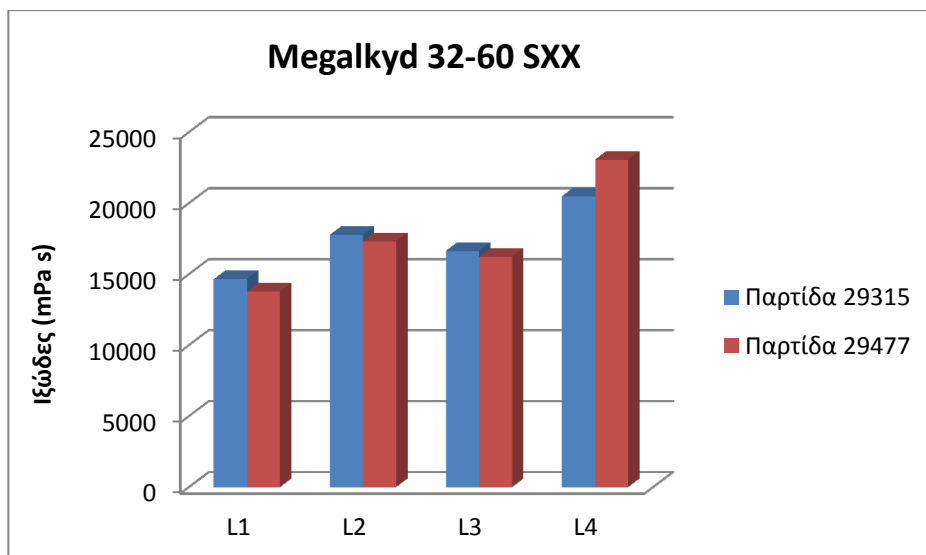
Προκειμένου να διαπιστωθεί η διαφορετική ρεολογική συμπεριφορά ρητινών μικρού μήκους λαδιού, επιλέγονται τρεις ρητίνες ιδίων χαρακτηριστικών και δη, στερεών 60%. Οι ρητίνες αυτές, προορίζονται για παραγωγή ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος, ναυτιλιακής και βιομηχανικής χρήσης. Τα χαρακτηριστικά τους, βάση των τεχνικών προδιαγραφών τους είναι όμοια, όπως αυτές παρατίθενται στο παράρτημα. Διαφορά εντοπίζεται μόνο στο μήκος λαδιού της Izelkyd RAP 38X60, το οποίο είναι ελάχιστα μεγαλύτερο των άλλων δυο. Τα υπό σύγκριση δείγματα ελέγχονται ως προς το ιξώδες τους στην ίδια θερμοκρασία. Η σύγκριση πραγματοποιείται στους 20°C, καθώς όπως έχει παρουσιαστεί στην § 6.2.2., σε αυτή τη θερμοκρασία, οι μετρούμενες τιμές ιξώδους είναι παραπλήσιες και για τους τέσσερις άξονες. Το γεγονός αυτό φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα, στο οποίο εμφανίζονται τα ιξώδη των τριών ρητινών μετρούμενα και με τους τέσσερις άξονες.

Όπως γίνεται αντιληπτό, τα ιξώδη διαφοροποιούνται έντονα, παρά το γεγονός ότι και οι τρεις ρητίνες προορίζονται για την ίδια χρήση. Αποτέλεσμα είναι να προκύπτει μεταβολή του ιξώδους του τελικού προϊόντος σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται διαφορετικές ρητίνες σε διαφορετικές παραγωγές. Εμφανίζεται έτσι η αδυναμία τήρησης μιας συγκεκριμένης συνταγής.



Διάγραμμα 19: Συγκριτική παράθεση ιξώδους ρητινών μικρού μήκους λαδιού στους 20 °C

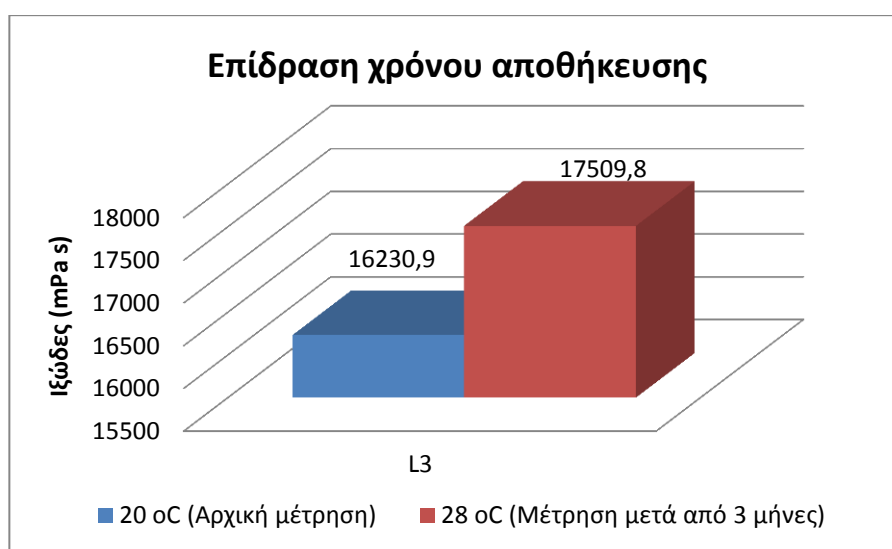
Αξιοσημείωτο είναι ότι το ίδιο πρόβλημα προκύπτει ακόμα και στην περίπτωση χρήσης της ίδιας ρητίνης, αλλά διαφορετικής παρτίδας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τη ρητίνη μικρού μήκους λαδιού, Megalkyd 32-60 SXX, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα, στο οποίο φανερώνεται η διαφοροποίηση του ιξώδους στην εκάστοτε παρτίδα.



Διάγραμμα 20: Διαφοροποίηση ιξώδους ανάμεσα σε διαφορετικές παρτίδες της ίδιας ρητίνης

6.2.4. Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στο ιξώδες ρητινών

Προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στη σύσταση της ρητίνης, επιχειρείται η εξέταση συγκεκριμένου δείγματος ρητίνης μικρού μήκους λαδιού, σε χρονικό διάστημα τριών μηνών. Το δείγμα και στις δύο περιπτώσεις εξετάστηκε σε θερμοκρασία δωματίου, με τον άξονα L3. Η αρχική μέτρηση πραγματοποιήθηκε στους 20°C, ενώ η μέτρηση μετά το πέρασμα των τριών μηνών, έγινε στους 28°C. Όπως έχει ήδη αποδειχθεί (βλ. § 6.2.2.), κατά την αύξηση της θερμοκρασίας, επέρχεται μείωση του ιξώδους. Αξιοσημείωτο όμως είναι το παρακάτω αποτέλεσμα.



Διάγραμμα 21: Σύγκριση ιξώδους της ίδιας ρητίνης, μετά το πέρασμα 3 μηνών σε διαφορετικές θερμοκρασίες

Όπως είναι φανερό, το ιξώδες στους 28°C είναι υψηλότερο κατά 8%, παρά το γεγονός ότι αναμενόταν να είναι χαμηλότερο. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε δύο λόγους:

- a) Μετά το πέρασμα τριών μηνών, η εξάτμιση διαλύτη είναι αναπόφευκτη, παρ' ότι το δοχείο φύλαξης είναι σφραγισμένο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση διαλύτης είναι η ξυλόλη, η οποία παρουσιάζει μεγάλη πτητικότητα.
- b) Η ρητίνη ως πολυμερές, υπόκειται σε γήρανση. Είναι δυνατόν, ο πολυμερισμός να συνεχίζεται και μάλιστα να υποβοηθείται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπλέον, είναι πιθανή η υφιστάμενη οξείδωση του λαδιού.

Επομένως, για τους ανωτέρω δύο λόγους, το ιξώδες της ρητίνης αυξάνει με το πέρασμα του χρόνου. Το συγκεκριμένο φαινόμενο, επηρεάζει την παραγωγική διαδικασία και όχι μόνο. Αρχικά εμποδίζει τη φύλαξη και αποθήκευση μεγάλων όγκων Α' υλών και υποχρεώνει την άμεση κατανάλωση της προμηθευόμενης Α' ύλης. Γι' αυτό το λόγο, απαραίτητη είναι η προμήθεια μικρότερων ποσοτήτων, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής αγοράς. Επιπλέον, σε περιπτώσεις αποθήκευσης της ρητίνης σε δεξαμενές, ενδέχεται ο κίνδυνος αύξησης του ιξώδους που συνεπάγεται δυσχέρεια στη διακίνηση της και επίδραση στο ιξώδες του τελικού προϊόντος.

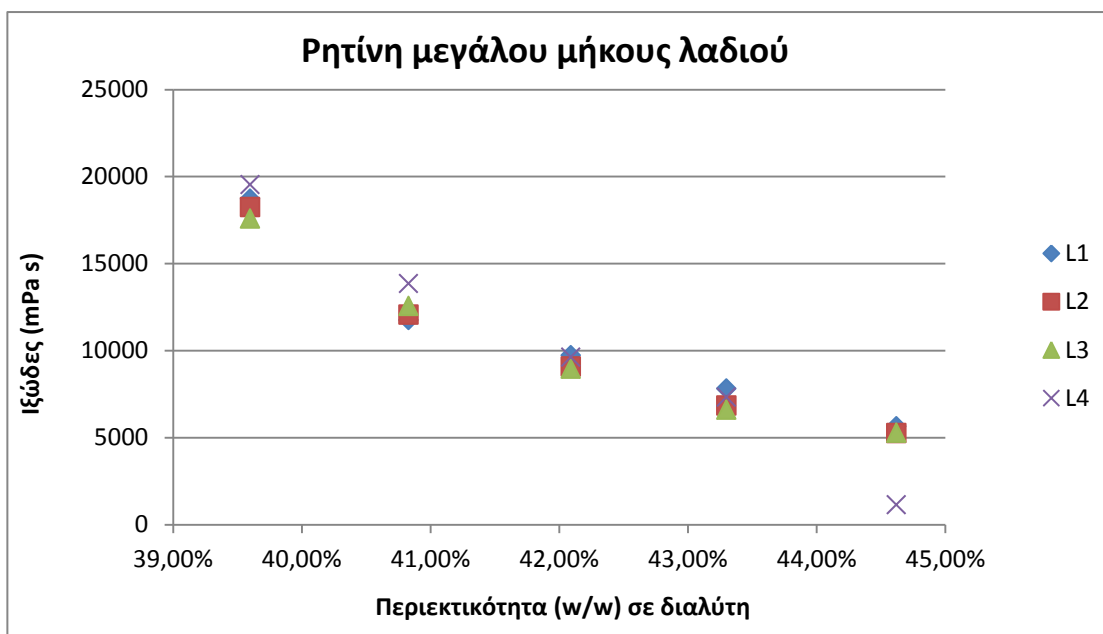
6.2.5. Επίδραση της αραιώσης στο ιξώδες ρητινών

Αναπόφευκτη είναι η χρήση διαλυτών για τη ρύθμιση του ιξώδους κατά την παραγωγή των χρωμάτων. Έκαστη ρητίνη επιδέχεται τη χρήση συγκεκριμένου διαλύτη. Στην περίπτωση μεγάλου μήκους λαδιού ρητινών, επιλέγεται White Spirit, ενώ για τις μικρού μήκους λαδιού ρητίνες, χρησιμοποιείται ξυλόλη. Προκειμένου να εξετασθεί η συμπεριφορά ως προς την αραιώση των ρητινών, επιλέγεται μια ρητίνη από την κάθε κατηγορία και αραιώνεται διαδοχικά, έως ότου η περιεκτικότητα σε στερεά και σε διαλύτη να είναι 50:50. Τα διαλύματα που παρασκευάζονται έχουν τις ακόλουθες περιεκτικότητες σε διαλύτη:

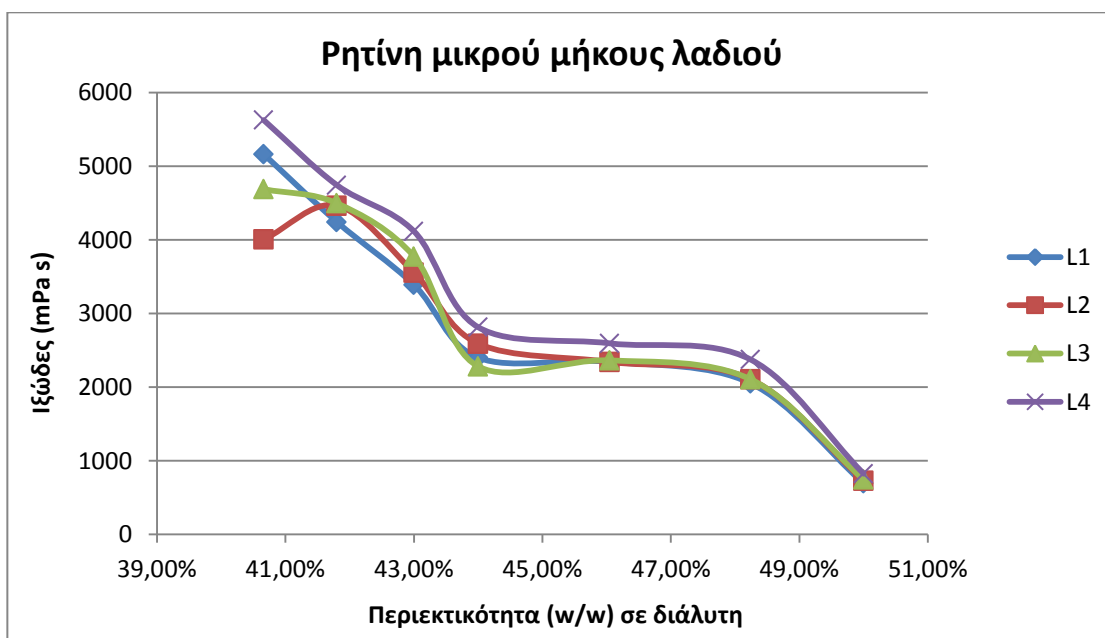
Πίνακας 13: Περιεκτικότητες κατά βάρος σε διαλύτη, των διαλυμάτων των δύο ρητινών

Μεγάλου μήκους λαδιού	Περιεκ/τα (w/w)	Μικρού μήκους λαδιού	Περιεκ/τα (w/w)
Διάλυμα 1	39,60%	Διάλυμα 1	40,66%
Διάλυμα 2	40,83%	Διάλυμα 2	41,80%
Διάλυμα 3	42,09%	Διάλυμα 3	43,00%
Διάλυμα 4	43,30%	Διάλυμα 4	44,00%
Διάλυμα 5	44,62%	Διάλυμα 5	46,05%
		Διάλυμα 6	48,24%
		Διάλυμα 7	50,00%

Στη συνέχεια, αφού παρασκευαστούν τα διαλύματα, μετράται το ιξώδες τους με τη συνήθη πειραματική διαδικασία, όπως αυτή περιγράφεται στην § 6.1.1., με όλους τους άξονες του οργάνου και σε θερμοκρασία δωματίου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ιξώδους για κάθε περιεκτικότητα, προκύπτουν όπως έχει αναφερθεί, ως ο μέσος όρος των μετρούμενων τιμών για την κάθε δυνατή ταχύτητα περιστροφής.



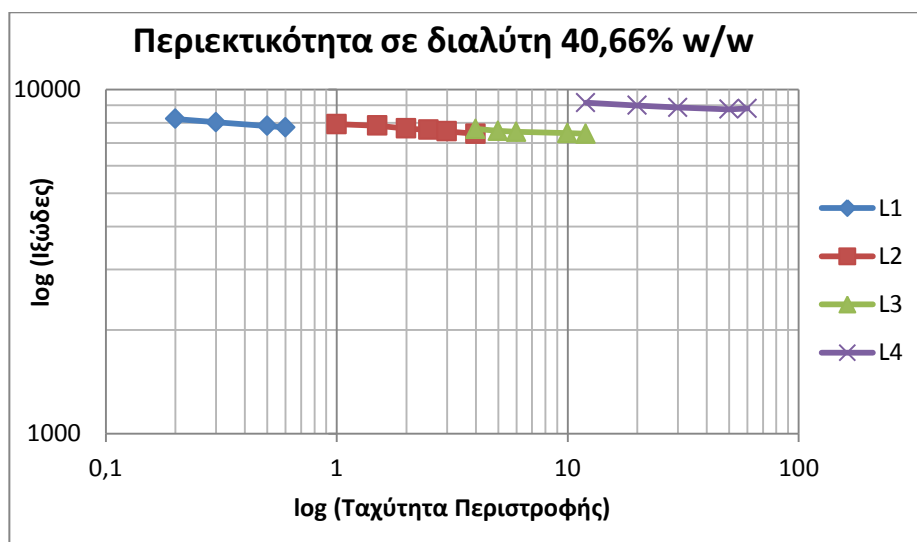
Διάγραμμα 22: Ιξώδες ρητίνης μεγάλου μήκους λαδιού, συναρτήσε περιεκτικότητας σε White Spirit



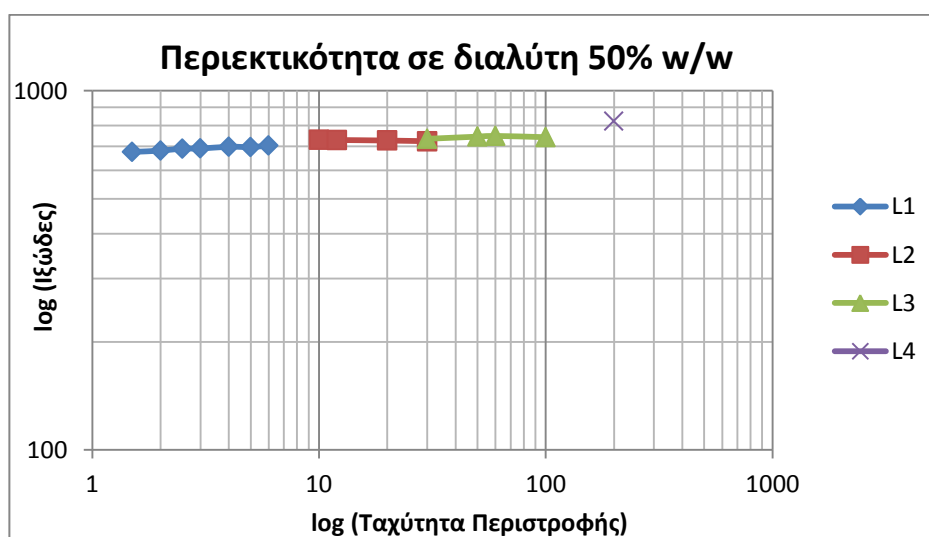
Διάγραμμα 23: Ιξώδες ρητίνης μικρού μήκους λαδιού, συναρτήσε περιεκτικότητας σε ξυλόλη

Όπως είναι εμφανές, η ρεολογική συμπεριφορά των δυο ρητινών ως προς την αραίωσή τους, διαφοροποιείται. Το ιξώδες της μεγάλου μήκους λαδιού ρητίνης, μειώνεται ομοιόμορφα όσο η περιεκτικότητα σε διαλύτη αυξάνεται. Αντιθέτως, η μικρού μήκους λαδιού ρητίνη, εμφανίζει ένα πλατό, γεγονός που αποδεικνύει, ότι υπάρχει μια κρίσιμη ποσότητα διαλύτη που θα επιφέρει την επιθυμητή αραίωση. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, ο διαλύτης απορροφάται από το πολυμερές, χωρίς να μειώνει το ιξώδες του σε ιδιαίτερο βαθμό.

Επιπλέον, στο διάγραμμα της μικρού μήκους λαδιού ρητίνης, φαίνεται ότι η αύξηση του διαλύτη, προκαλεί αύξηση της νευτώνειας συμπεριφοράς της ρητίνης. Για συγκριτικούς λόγους, παρατίθενται τα διπλά λογαριθμικά διαγράμματα στις περιεκτικότητες 40,66% w/w και 50% w/w σε διαλύτη.



Διάγραμμα 24: Διπλά λογαριθμικό διάγραμμα ιξώδους συναρτήσει ταχύτητας περιστροφής για ρητίνη μικρού μήκους λαδιού



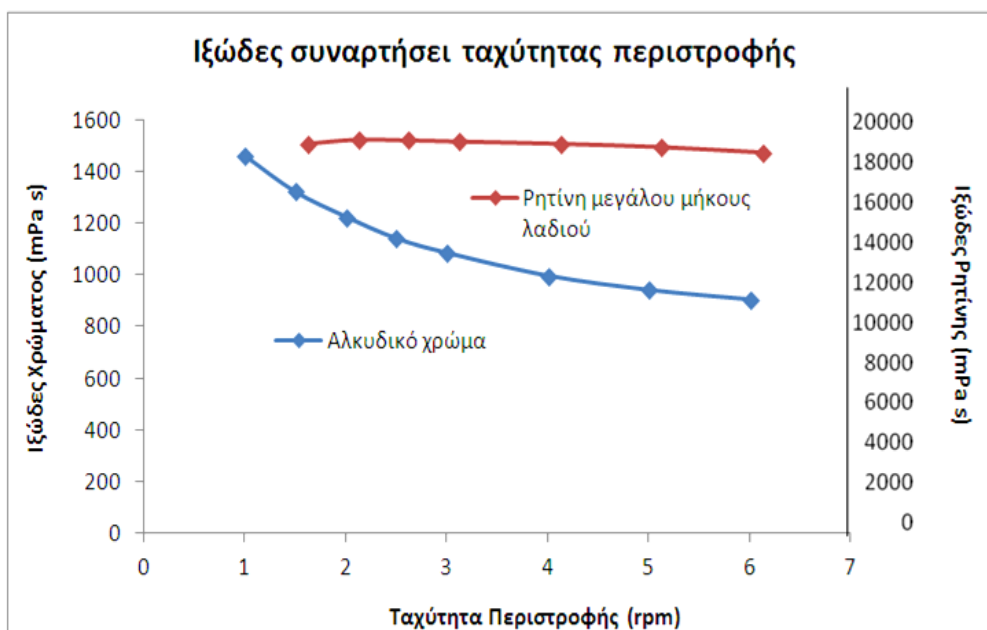
Διάγραμμα 25: Διπλά λογαριθμικό διάγραμμα ιξώδους συναρτήσει ταχύτητας περιστροφής για διάλυμα ρητίνης μικρού μήκους λαδιού 50% w/w

6.2.6. Επίδραση της ρητίνης στο ιξώδες των χρωμάτων

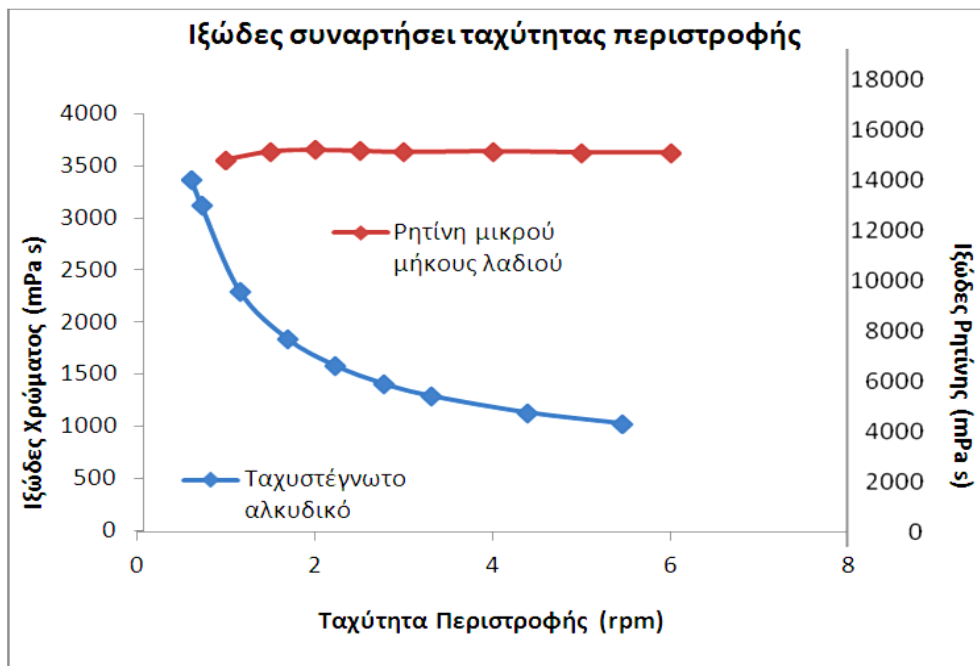
Λόγω του ότι η ρητίνη αποτελεί το κύριο συστατικό των χρωμάτων και περιέχεται σε ποσοστά που φτάνουν το 60%, κρίνεται αναγκαία η μελέτη της επίδρασης του ιξώδους της στο ιξώδες του τελικού χρώματος. Γι' αυτό το λόγο, μελετάται η επίδραση δύο ρητινών σε βιομηχανικό / ναυτιλιακό χρώμα, απόχρωσης RAL 5021.

Για λόγους σύγκρισης, παρασκευάζονται δύο χρώματα που προορίζονται για την ίδια χρήση, βασισμένα στην ίδια συνταγή, αλλά με συνδεδετικό μέσο διαφορετική ρητίνη. Στη μία περίπτωση χρησιμοποιείται ρητίνη μεγάλου μήκους λαδιού, ενώ στην άλλη, ρητίνη μικρού μήκους λαδιού, με αποτέλεσμα να προκύπτει ταχυστέγνωτο χρώμα. Όπως είναι φυσικό, απ' τη στιγμή που χρησιμοποιείται για την κάθε περίπτωση διαφορετική ρητίνη, απαιτείται και χρήση κατάλληλου διαλύτη. Έτσι, για τη διάλυση της μεγάλου μήκους λαδιού ρητίνης χρησιμοποιείται White Spirit, ενώ η μικρού μήκους λαδιού ρητίνη, διαλύεται με ξυλόλη.

Οι μετρήσεις ιξώδους πραγματοποιούνται για τη ρητίνη και για το χρώμα στην εκάστοτε περίπτωση, σε θερμοκρασία δωματίου, δηλαδή στους 20°C. Ακολουθείται η συνήθης πειραματική διαδικασία, ως έχει παρουσιαστεί ανωτέρω. Για να είναι εφικτή η σύγκριση, επιλέγονται οι τιμές ιξώδους που έχουν προκύψει από συγκεκριμένο εύρος ταχυτήτων περιστροφής, δηλαδή υπό καθορισμένη διάτμηση. Έτσι, οι στροφές στις οποίες γίνεται η σύγκριση κυμαίνονται από 0,1 rpm έως 6 rpm. Για το χρώμα χρησιμοποιείται ο άξονας L1, ενώ για τη ρητίνη ο άξονας L3.



Διάγραμμα 26: Συγκριτική παράθεση ιξώδους συναρτήσει διάτμησης για ρητίνη μεγάλου μήκους λαδιού και παραγόμενο αλκυδικό χρώμα



Διάγραμμα 27: Συγκριτική παράθεση ιξώδους συναρτήσει διάτμησης για ρητίνη μικρού μήκους λαδιού και παραγόμενο ταχυστέγνωτο αλκυδικό χρώμα

Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται είναι κατά κύριο λόγο ποιοτικά, μιας και έχουν ως σκοπό να εκφράσουν την εξάρτηση του ιξώδους του χρώματος από το ιξώδες της ρητίνης. Και στα δύο διαγράμματα, είναι εμφανές ότι το ιξώδες της ρητίνης δεν μεταβάλλεται με την αύξηση των στροφών περιστροφής, σε αντίθεση με το ιξώδες του χρώματος, το οποίο μειώνεται όσο η ταχύτητα περιστροφής αυξάνεται. Με αυτό τον τρόπο, φανερώνεται και πάλι η νευτώνεια συμπεριφορά της ρητίνης, η οποία έρχεται σε αντίθεση με την ψευδοπλαστική συμπεριφορά που εμφανίζει το χρώμα.

Επιπλέον, όπως είναι εμφανές, το ιξώδες του χρώματος από το ιξώδες της ρητίνης, διαφέρουν κατά μια τάξη μεγέθους και στις δυο περιπτώσεις. Γι' αυτό το λόγο επιλέγεται η κατασκευή διαγράμματος με διπλούς άξονες. Ο άξονας στα αριστερά αναφέρεται στο ιξώδες του χρώματος, ενώ ο δεξιός άξονας στο ιξώδες της ρητίνης.

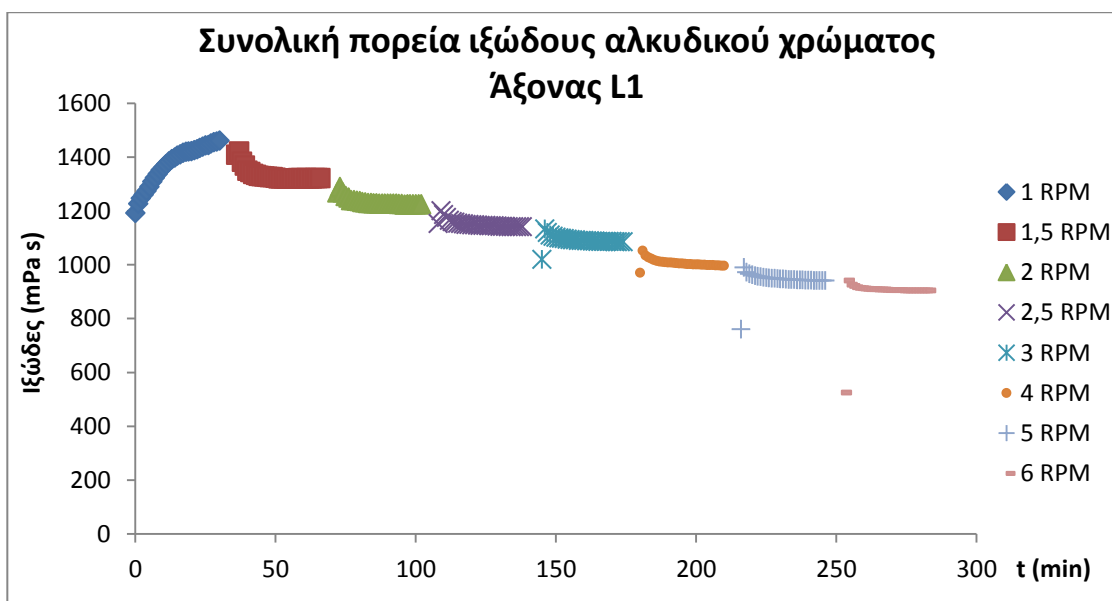
Συγκρίνοντας τα δύο διαγράμματα, μπορούμε να διαπιστώσουμε, ότι το ταχυστέγνωτο χρώμα, εμφανίζει μεγαλύτερη ψευδοπλαστικότητα, δηλαδή το φαινόμενο της διατμητικής λέπτυνσης είναι εντονότερο. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί, αν λάβουμε υπόψη ότι οι ρητίνες μικρού μήκους λαδιού, προσομοιάζουν περισσότερο τον πολυεστέρα από τον οποίο έχουν παραχθεί κι όχι τόσο το λάδι. Έτσι, οι μικρού μήκους αλυσίδες λαδιού, αναδιατάσσονται ευκολότερα κάτω από καθεστώς αυξανόμενης διάτμησης και σε συνδυασμό με τα στερεά που περιέχονται στο χρώμα, όπως Ca, CaCO₃, TiO₂ και τις λοιπές χρωστικές, προκαλούν εντονότερη διατμητική λέπτυνση.

6.3. Ποιοτικός έλεγχος χρωμάτων

6.3.1. Ψευδοπλαστική συμπεριφορά χρωμάτων

Στην § 6.2.6. πραγματοποιήθηκε μια σύγκριση ανάμεσα στο ιξώδες ρητινών και των αντίστοιχων παραγόμενων χρωμάτων. Αποδείχτηκε έτσι, ότι το χρώμα παρουσιάζει διαφορετική ρεολογική συμπεριφορά απ' ότι η ρητίνη από την οποία αποτελείται και καθίσταται ψευδοπλαστικό. Όταν ένα ρευστό υποβάλλεται σε αλλαγές του ρυθμού ταχύτητας διάτμησης κατά τη διάρκεια της χρήσης του, είναι απαραίτητη η γνώση του ιξώδους του σε κάθε ρυθμό ταχύτητας (24).

Προκειμένου να σκιαγραφηθεί πλήρως η πορεία του ιξώδους σε ένα αλκυδικό χρώμα, πραγματοποιείται μία σάρωση με όλες τις δυνατές ταχύτητες περιστροφής, για έναν συγκεκριμένο άξονα, σε διάστημα 5 ωρών. Όλες οι μετρήσεις λαμβάνονται σε θερμοκρασία δωματίου, δηλαδή στους 20 °C. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 28: Πορεία ιξώδους υπό αυξανόμενη διάτμηση για αλκυδικό χρώμα

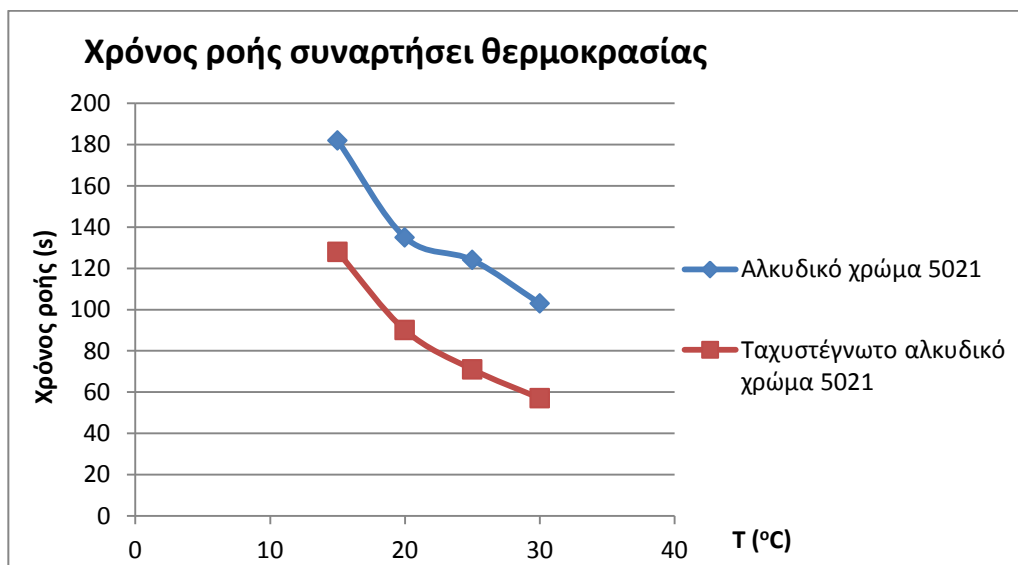
Όπως φαίνεται, το ιξώδες τείνει να μειώνεται όσο η διατμητική τάση αυξάνεται. Επίσης, είναι αισθητή μία μικρή μείωση του ιξώδους σε σχέση με το χρόνο, η οποία θα μελετηθεί ακολούθως και εκφράζει τη θιξοτροπία που συνήθως εμφανίζεται στα ψευδοπλαστικά ρευστά. Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι μετρήσεις για 1rpm, δείχνουν ότι το ιξώδες αυξάνεται σταδιακά. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι το σύστημα δεν έχει έρθει σε ισορροπία αρχικά, και τείνει να αντισταθεί στη μεταβολή της κινητικής του κατάστασης. Συνήθως, οι μετρήσεις στις αρχικές στροφές, δεν λαμβάνονται υπόψη γι' αυτό το λόγο.

6.3.2. Επίδραση θερμοκρασίας στο ιξώδες αλκυδικών χρωμάτων

Η θερμοκρασία όπως έχει αποδειχθεί, επηρεάζει το ιξώδες των ρητινών, με αποτέλεσμα να επιδρά και στο ιξώδες του τελικού χρώματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέγεται το κύπελλο ροής DIN CUP #4#, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο ροής δύο αλκυδικών χρωμάτων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκεντρώνονται στον ακόλουθο πίνακα και παρουσιάζονται στο αντίστοιχο διάγραμμα.

Πίνακας 14: Χρόνοι ροής για αλκυδικά χρώματα

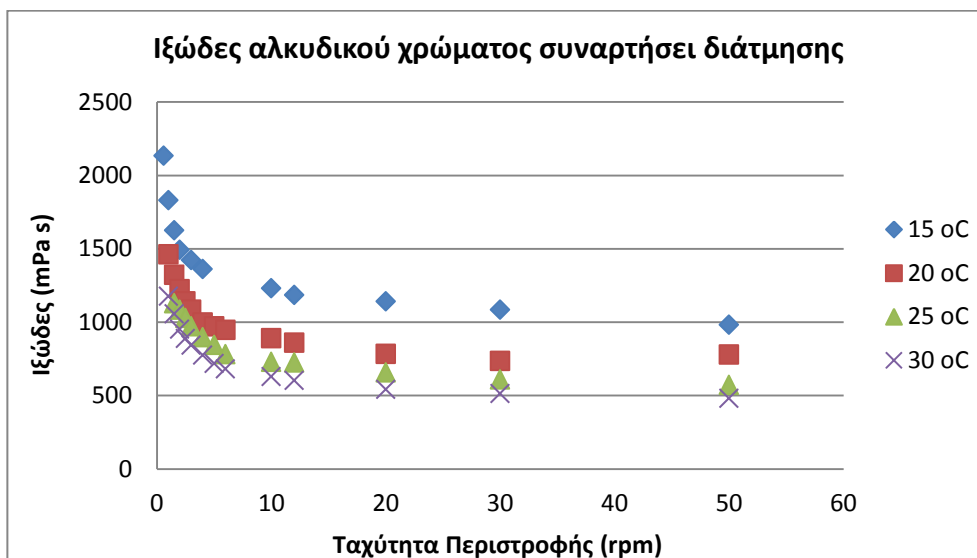
Θερμοκρασία (°C)	Χρόνος Ροής (s)	
	Απλό Αλκυδικό	Ταχυστέγνωτο Αλκυδικό
15	182	128
20	135	90
25	124	71
30	103	57



Διάγραμμα 29: Επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο ροής αλκυδικών χρωμάτων

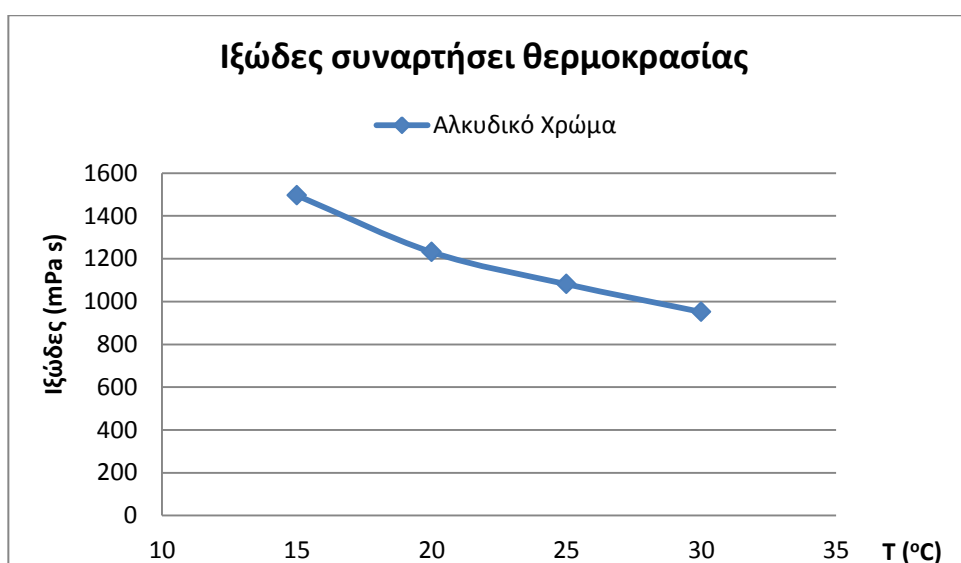
Εκ πρώτης όψης, είναι φανερό ότι το απλό αλκυδικό χρώμα παρουσιάζει υψηλότερο ιξώδες σε κάθε θερμοκρασία, γεγονός που είναι αναμενόμενο, αφού η ρητίνη μεγάλου μήκους λαδιού έχει υψηλότερο ιξώδες από τη ρητίνη μικρού μήκους λαδιού, από την οποία παρασκευάστηκε το ταχυστέγνωτο χρώμα. Επιπλέον, η μείωση στο χρόνο ροής του απλού αλκυδικού χρώματος είναι εντονότερη απ' αυτή του ταχυστέγνωτου αλκυδικού.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται έλεγχος του ιξώδους σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, μέσω του ηλεκτρονικού περιστροφικού ιξωδομέτρου HAAKE Viscotester C. Οι θερμοκρασίες στις οποίες λαμβάνονται οι τιμές ιξώδους, διαφέρουν κατά 5°C και κυμαίνονται από 15°C έως 30°C. Ως κοινός γνώμονας, επιλέγεται η ταχύτητα περιστροφής, η οποία ορίζει τον οριζόντιο άξονα του παρακάτω διαγράμματος.



Διάγραμμα 30: Ιξώδες αλκυδικού χρώματος, ως συνάρτηση της διατμητικής τάσης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες

Αντίστοιχα, μπορεί να κατασκευαστεί διάγραμμα, που να παρουσιάζει την εξάρτηση του ιξώδους από τη θερμοκρασία, υπό σταθερή διάτμηση. Χαρακτηριστικό είναι το ακόλουθο, το οποίο συνοψίζει την θερμοκρασιακή εξάρτηση του ιξώδους υπό σταθερή διάτμηση, για ένα αλκυδικό χρώμα.



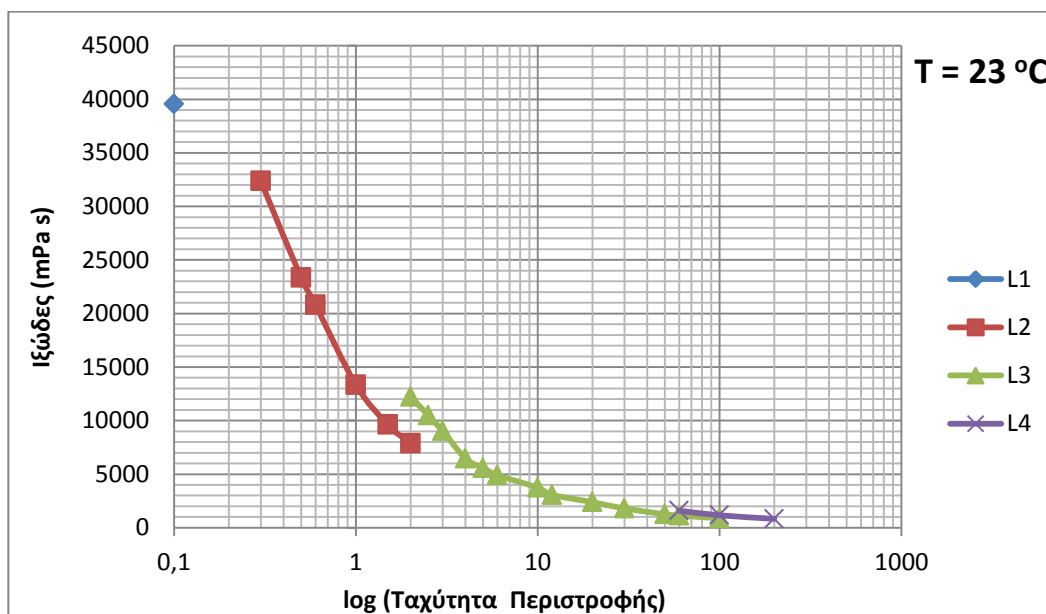
Διάγραμμα 31: Μεταβολή ιξώδους ως προς θερμοκρασία υπό σταθερή διάτμηση (2rpm), για αλκυδικό χρώμα

6.3.3. Επίδραση θερμοκρασίας στο ιξώδες χρωμάτων χλωριωμένου καουτσούκ

Όπως είναι γνωστό, τα χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρων στη ναυτιλία, εμφανίζουν κάποιες ιδιαιτερότητες ως προς τη ρεολογική τους συμπεριφορά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, μελετάται το ιξώδες ενός ασταριού από χλωριωμένο καουτσούκ, σε μεταβολή θερμοκρασίας 5°C.

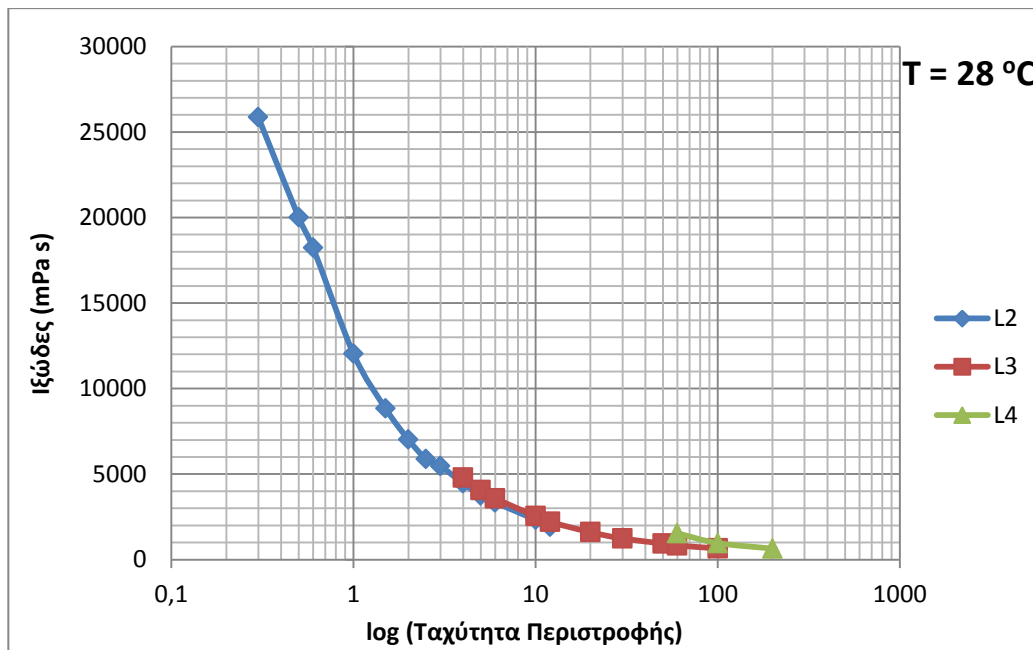
Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με το ηλεκτρονικό ιξωδόμετρο ΗΑΑΚΕ Viscotester C, σύμφωνα με τη συνήθη πειραματική διαδικασία. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το δείγμα είναι το ίδιο για κάθε μέτρηση, ανεξαρτήτως άξονα και χρησιμοποιείται γυάλινο δοχείο 500ml ως περιέκτης.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στα κάτωθι ημιλογαριθμικά διαγράμματα. Ο άξονας της ταχύτητας περιστροφής επιλέγεται να είναι λογαριθμικός, ώστε να μπορούν να αναπαρασταθούν οι μετρήσεις από όλους τους άξονες στο ίδιο διάγραμμα, παρά το μεγάλο εύρος των δυνατών στροφών.



Διάγραμμα 32: Ιξώδες συναρτήσει λογαρίθμου ταχύτητας περιστροφής στη θερμοκρασία των 23°C, για αστάρι χλωριωμένου καουτσούκ

Στο ανωτέρω διάγραμμα, είναι εμφανής η έντονη διατμητική λεπύτωση του συγκεκριμένου χρώματος. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται για όλους τους άξονες. Ο άξονας L1 δύναται να μετρήσει μόνο σε μια ταχύτητα, μιας και το ιξώδες του συγκεκριμένου χρώματος δεν ανήκει στο εύρος των ταχυτήτων περιστροφής του άξονα L1. Αξιοσημείωτο όμως, είναι το ακόλουθο διάγραμμα, που περιλαμβάνει τις μετρήσεις σε υψηλότερη θερμοκρασία.



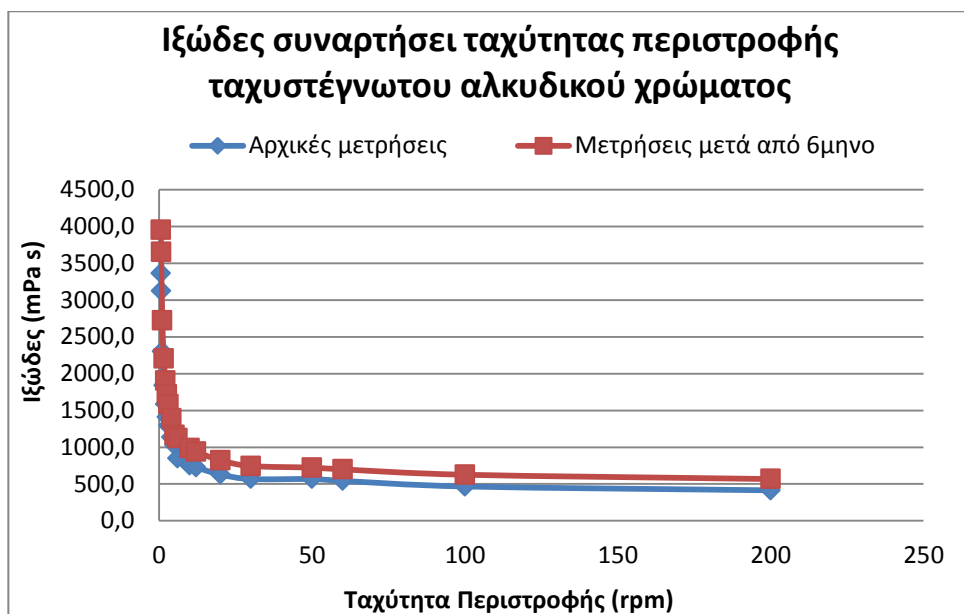
Διάγραμμα 33: Ιξώδες συναρτήσει λογαρίθμου ταχύτητας περιστροφής στη θερμοκρασία των 28°C, για αστάρι χλωριωμένου καουτσούκ

Στο διάγραμμα 32 παρατηρείται ότι οι μετρήσεις με διαφορετικούς άξονες, δεν εμφανίζουν ασυνέχειες, αλλά αντιθέτως, σχηματίζεται μια συνεχής καμπύλη που εκφράζει την εξάρτηση του ιξώδους από τη διάτμηση. Ο λόγος που οι μετρήσεις με διαφορετικούς άξονες είναι παραπλήσιες, παρά τη γενική ψευδοπλαστική συμπεριφορά των χρωμάτων, οφείλεται πιθανότατα στο χλωριωμένο λάστιχο που περιέχεται στο συγκεκριμένο αστάρι και στην αύξηση της θερμοκρασίας. Αυξάνοντας τη θερμοκρασία, αυξάνεται η κινητικότητα των αλυσίδων του πολυμερούς και μειώνεται η αντίστασή τους στη διάτμηση. Έτσι, ακόμα και με αλλαγή της γεωμετρίας των αξόνων, η αντίσταση που εμφανίζουν είναι μικρότερη απ' αυτήν που παρατηρείται στη θερμοκρασία δωματίου.

6.3.4. Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στο ιξώδες ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος

Σε μια βιομηχανία χρωμάτων, ανάλογα με τη ζήτηση και την κατανάλωση, είναι δυνατόν πολλές φορές να αποθηκεύονται ποσότητες παραγόμενων χρωμάτων και να πωλούνται μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, εμφανίζεται μια αλλοίωση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των χρωμάτων και δη του ιξώδους, λόγω γήρανσης του υλικού και εξάτμισης ποσότητας διαλύτη. Το φαινόμενο είναι εντονότερο στα ταχυστέγνωτα χρώματα, μιας και οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται είναι πτητικότεροι (π.χ. ξυλόλη).

Έλεγχος ιξώδους πραγματοποιείται σε αλκυδικό ταχυστέγνωτο χρώμα που φυλάσσεται για διάστημα 6 μηνών. Οι τιμές ιξώδους που χρησιμοποιούνται στο ακόλουθο συγκεντρωτικό διάγραμμα, έχουν ληφθεί μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας του οργάνου. Συγκεκριμένα, για τον άξονα L1 ο χρόνος προσμονής είναι 15min, για τον άξονα L2 απαραίτητος χρόνος προσμονής είναι τα 10min, για τον L3 άξονα 5min και για τον L4 άξονα μόλις 3min, λόγω των υψηλών ταχυτήτων περιστροφής του.

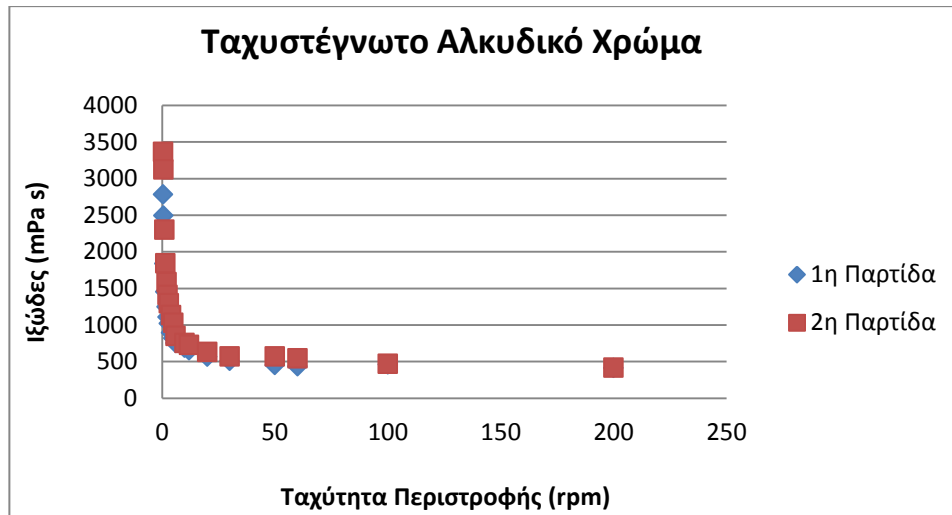


Διάγραμμα 34: Ιξώδες αλκυδικού ταχυστέγνωτου χρώματος, σε όλο το εύρος ταχυτήτων περιστροφής, μετά το πέρασμα 6 μηνών από την ημέρα παραγωγής και εξέτασής του

Όπως φανερώνεται, το ιξώδες μετά το πέρασμα 6 μηνών είναι αυξημένο και σε συγκεκριμένες ταχύτητες περιστροφής, αυτή η αύξηση αγγίζει το 37%. Το γεγονός αυτό δηλώνει πως αν το συγκεκριμένο χρώμα διοχετευτεί στην αγορά, το ιξώδες του δε θα συμβαδίζει με τις μετρηθείσες τιμές του φύλλου προδιαγραφών και ποιότητας που προέκυψαν κατά τον ποιοτικό έλεγχο, στη διάρκεια της παραγωγής.

6.3.5. Επαναληψιμότητα μετρήσεων ανάμεσα σε διαφορετικές παρτίδες

Σε κάθε παραγωγική διεργασία, είναι απαραίτητη η επαναληψιμότητα, δηλαδή η παραγωγή προϊόντων με τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά. Κατ' αυτόν τον τρόπο, διατηρείται η ποιότητα σε υψηλά επίπεδα και αποφεύγονται τα σφάλματα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ελέγχεται το ιξώδες ενός ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος, ως προς την επιβαλλόμενη διάτμηση. Προκειμένου να γίνει έλεγχος της επαναληψιμότητας, εξετάζονται δύο διαφορετικές παρτίδες, στην ίδια θερμοκρασία, όπως δείχνει το επόμενο διάγραμμα.

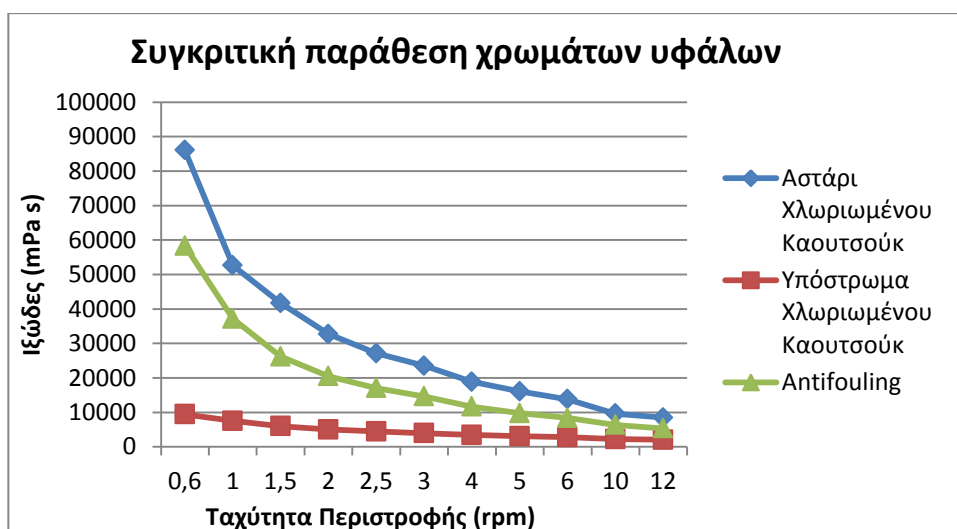


Διάγραμμα 35: Έλεγχος επαναληψιμότητας ιξώδους ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος

Όπως φαίνεται, τα αποτελέσματα των δύο μετρήσεων σχεδόν ταυτίζονται, γεγονός που αποδεικνύει ότι η παραγωγή του αλκυδικού χρώματος είναι καθορισμένη και το προϊόν τηρεί πάντα τις προδιαγραφές.

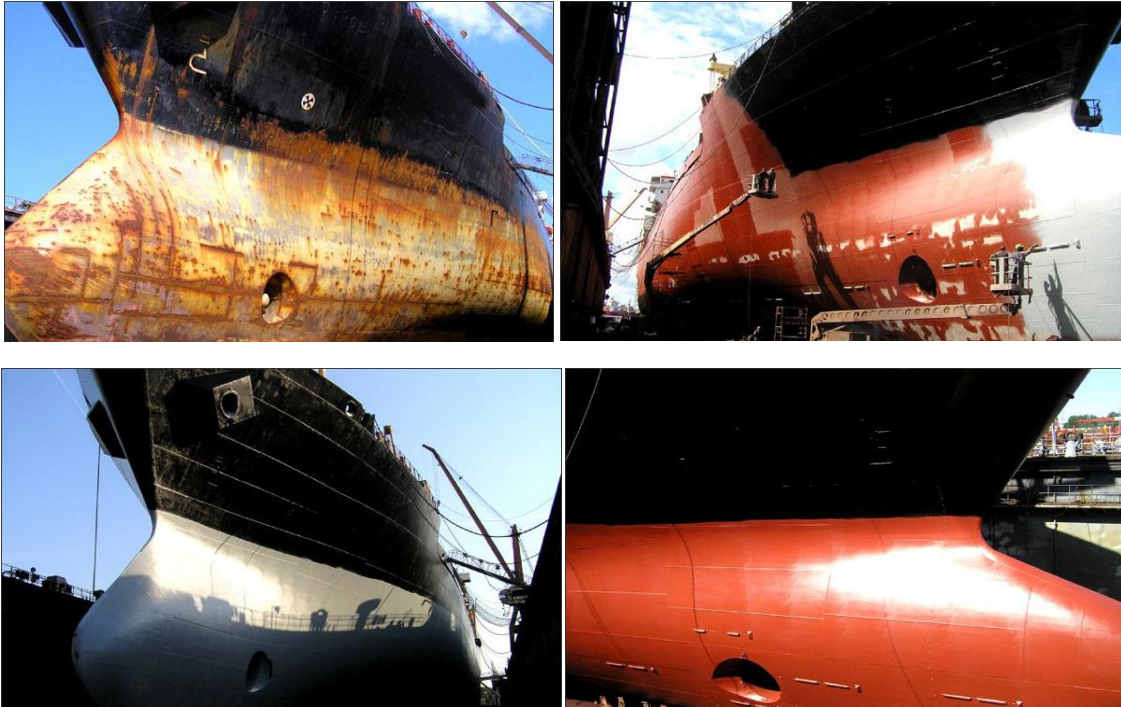
6.3.6. Μελέτη ολοκληρωμένου συστήματος βαφής υφάλων πλοίου

Μετά την ολοκλήρωση της διερεύνησης της εξάρτησης του ιξώδους από τη διάτμηση και τη θερμοκρασία, είναι απαραίτητη η μελέτη ενός ολοκληρωμένου συστήματος βαφής. Επιλέγονται έτσι τρία βασικά ναυτιλιακά χρώματα, ένα αστάρι χλωριωμένου καουτσούκ, ένα ενδιάμεσο χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ και το τελικό επίστρωμα, που είναι το υφαλόχρωμα. Τα τρία είδη, υπόκεινται στην ίδια διάτμηση, στους 20°C και το μετρούμενο ιξώδες τους παρατίθεται συγκριτικά στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα 36: Μεταβολή ιξώδους ως προς αυξανόμενη διάτμηση, για ένα ολοκληρωμένο σύστημα βαφής πλοίου

Όπως είναι φανερό και τα τρία χρώματα εμφανίζουν ψευδοπλαστικότητα. Μεγαλύτερη μεταβολή στο ιξώδες του εμφανίζει το αστάρι, στη συνέχεια το υφαλόχρωμα και τέλος το υπόστρωμα. Μάλιστα, το αστάρι και το υφαλόχρωμα, παρουσιάζουν αισθητά υψηλότερο ιξώδες από του υποστρώματος, το οποίο περιέχει αλουμίνιο με αποτέλεσμα να το κάνει πιο λεπτόρευστο.



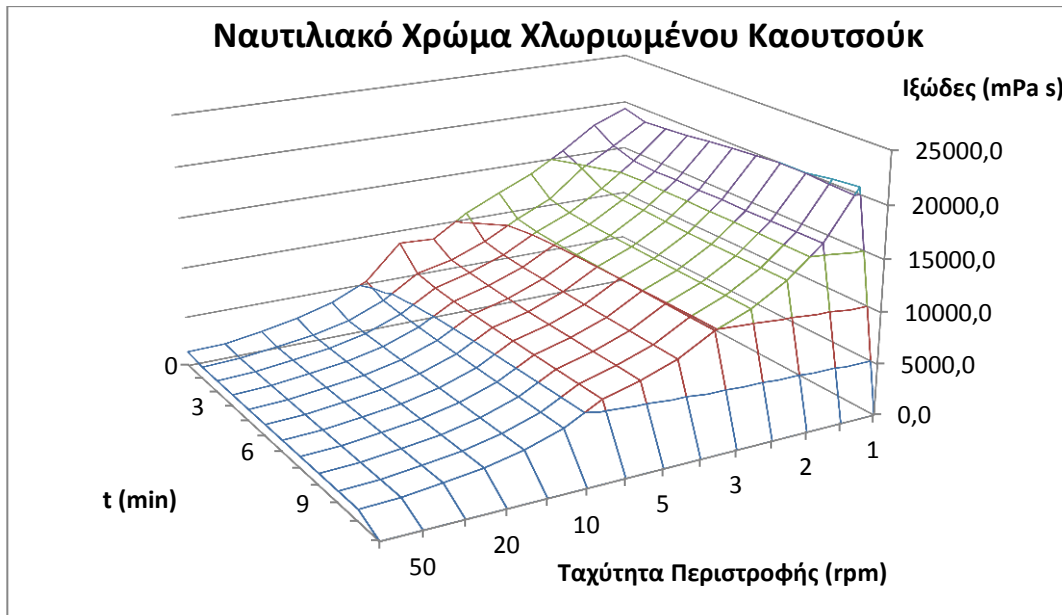
Εικόνα 15: Ολοκληρωμένο σύστημα βαφής, που περιλαμβάνει αστάρι (red/brown), ενδιάμεσο στρώμα (light silver), τελικό επίστρωμα (antifouling-κόκκινο) (28)

6.4. Μελέτη θιξοτροπίας

6.4.1. Χρονική εξάρτηση ιξώδους

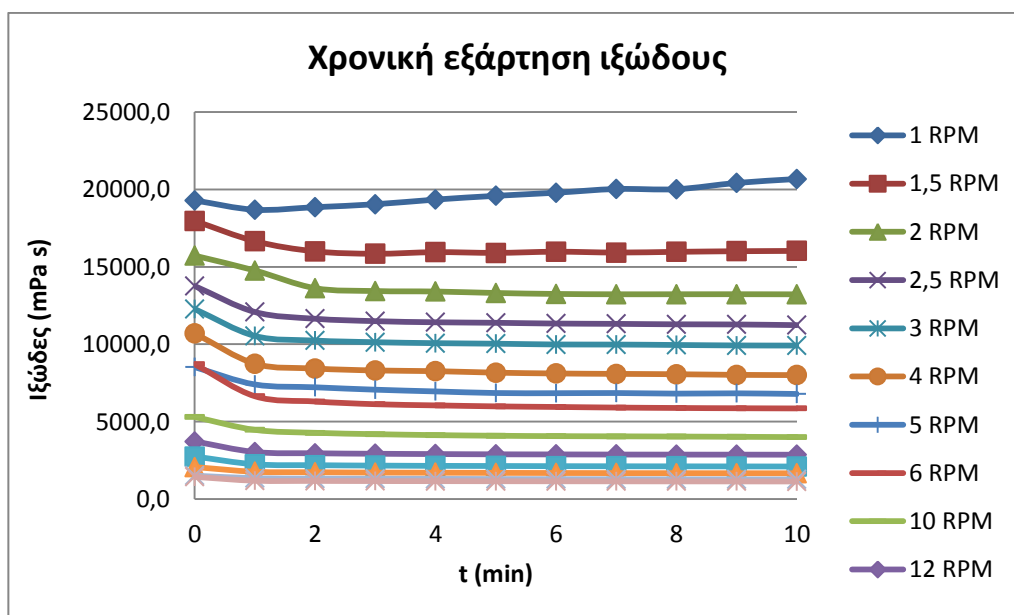
Χρώματα τα οποία περιέχουν θιξοτροπικούς παράγοντες, παρουσιάζουν χρονική εξάρτηση στο ιξώδες τους. Το συγκεκριμένο φαινόμενο γίνεται αντιληπτό, όταν υπό σταθερή διάτμηση, η τιμή ιξώδους τείνει να μειωθεί με το πέρασμα του χρόνου.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση εξετάζεται ένα ναυτιλιακό χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ, το οποίο εμφανίζει θιξοτροπική συμπεριφορά. Χρησιμοποιείται το ηλεκτρονικό περιστροφικό ιξωδόμετρο HAAKE Viscotester C και ο άξονας L3. Το δείγμα υπόκειται σε μεταβαλλόμενη διάτμηση, η οποία αυξάνεται ανά 10min. Τα δεδομένα αναπαριστούνται σε διάγραμμα τριών διαστάσεων, καθώς οι παράμετροι που μεταβάλλονται είναι ο ρυθμός διάτμησης και ο χρόνος. Εξαρτημένη μεταβλητή αποτελεί το ιξώδες.



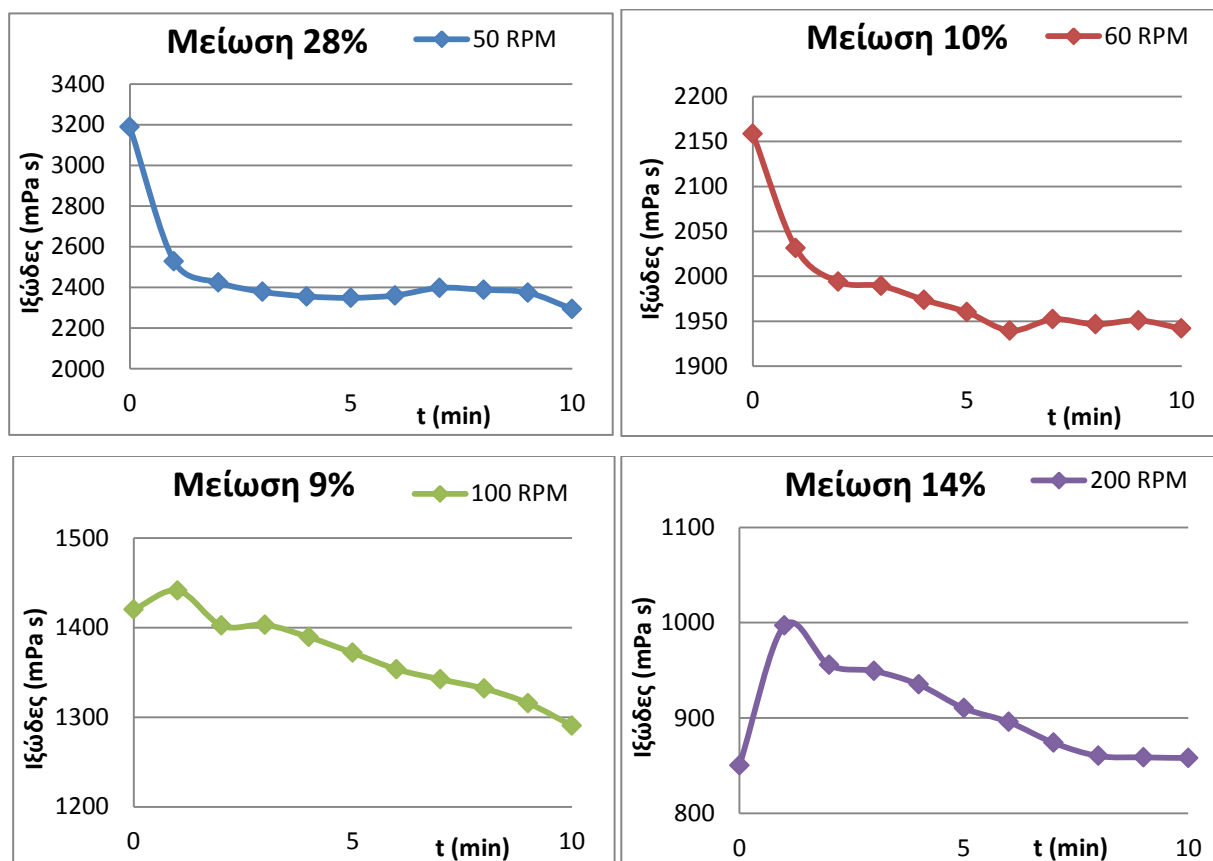
Διάγραμμα 37: Τρισδιάστατο διάγραμμα μεταβολής ιξώδους ναυτιλιακού χρώματος χλωριωμένου καουτσούκ, ως προς ρυθμό διάτμησης και χρόνο

Όπως φαίνεται από το τρισδιάστατο διάγραμμα, η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής, οδηγεί σε εντονότερη μείωση του ιξώδους. Αντίστοιχα, με το πέρασμα του χρόνου, το ιξώδες τείνει να μειώνεται και η μείωση φτάνει σε κάποιες ταχύτητες έως 32,8%. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η χρονική εξάρτηση του ιξώδους, κατασκευάζεται το ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 38: Μεταβολή ιξώδους ως προς το χρόνο για ναυτιλιακό χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ

Ο έλεγχος θιξοτροπίας, επαναλαμβάνεται στη συνέχεια με χρήση διαφορετικού άξονα. Σε αυτή την περίπτωση επιλέγεται ο άξονας L4 και οι στροφές λειτουργίας είναι υψηλότερες (50, 60, 100 και 200rpm). Η συμπεριφορά του χρώματος κάτω από διάτμηση σε υψηλές ταχύτητες με την πάροδο του χρόνου είναι ανάλογη με τη διάτμηση σε χαμηλότερες ταχύτητες, και η μείωση του ιξώδους εμφανώς ορατή. Βέβαια, τα ποσοστά μείωσης είναι σαφώς μικρότερα, όπως φαίνεται στα ακόλουθα διαγράμματα.



Διάγραμμα 39: Ποσοστιαία μείωση ιξώδους ναυτιλιακού χρώματος χλωριωμένου καουτσούκ σε συνάρτηση με το χρόνο, υπό διάτμηση σε υψηλές ταχύτητες

6.4.2. Έλεγχος θιξοτροπίας με αναστροφή ταχύτητας

Η γήρανση κάτω από συνθήκες σταθερού ρυθμού διάτμησης, επηρεάζει μόνο τα θιξοτροπικά και ρεοπηκτικά ρευστά. Σε μερικά ρευστά, η επίδραση του χρόνου σε συνδυασμό με το ποσοστό (proportion) διάτμησης είναι πολύ περίπλοκη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, κανείς μπορεί να επιτύχει, μια επιστροφή στην πραγματική κατάσταση του ρευστού με το πέρασμα του χρόνου (24).

Για τον έλεγχο της θιξοτροπίας, εξετάζονται για συγκριτικούς λόγους, μια ρητίνη που εμφανίζει νευτώνεια συμπεριφορά, δύο αλκυδικά χρώματα (απλό και ταχυστέγνωτο), απόχρωσης RAL 5021 και ένα ναυτιλιακό χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ.

Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με το περιστροφικό ιξωδόμετρο σε θερμοκρασία δωματίου. Επιλέγεται ο επιθυμητός άξονας και το όργανο τίθεται σε λειτουργία στη χαμηλότερη ταχύτητα περιστροφής, ώστε να είναι δυνατή η λήψη μέτρησης. Οι μετρήσεις για τη ρητίνη πραγματοποιήθηκαν με τον άξονα L4, σε θερμοκρασία 23°C. Για τα χρώματα, όλες οι μετρήσεις έγιναν στους 20°C. Το απλό αλκυδικό χρώμα εξετάστηκε με τον άξονα L1, ενώ το ταχυστέγνωτο με τη βοήθεια του άξονα L2. Για τον έλεγχο της θιξοτροπίας του ναυτιλιακού χρώματος χλωριωμένου καουτσούκ, χρησιμοποιήθηκε ο άξονας L3. Η επιλογή των αξόνων σε όλες τις περιπτώσεις, έγινε με κριτήριο το μεγαλύτερο δυνατό εύρος ταχυτήτων περιστροφής.

Η ένδειξη καταγράφεται μετά από 10 περιστροφές του άξονα. Στη συνέχεια, αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής βηματικά και γίνεται κάθε φορά καταγραφή της ένδειξης μετά από 10 περιστροφές. Όταν φτάσουμε στην υψηλότερη ταχύτητα, ακολουθούμε αντίστροφη πορεία, χαμηλώνοντας βηματικά την ταχύτητα περιστροφής και καταγράφοντας πάλι τις τιμές ιξώδους, ύστερα από 10 περιστροφές του άξονα (29).

Για τον έλεγχο του φαινομένου μνήμης, μετά την ολοκλήρωση της ανωτέρω διαδικασίας, το δείγμα αφήνεται προς ηρεμία για ορισμένο χρονικό διάστημα (10min) και στη συνέχεια πραγματοποιείται μέτρηση του ιξώδους του στη χαμηλότερη ταχύτητα περιστροφής.

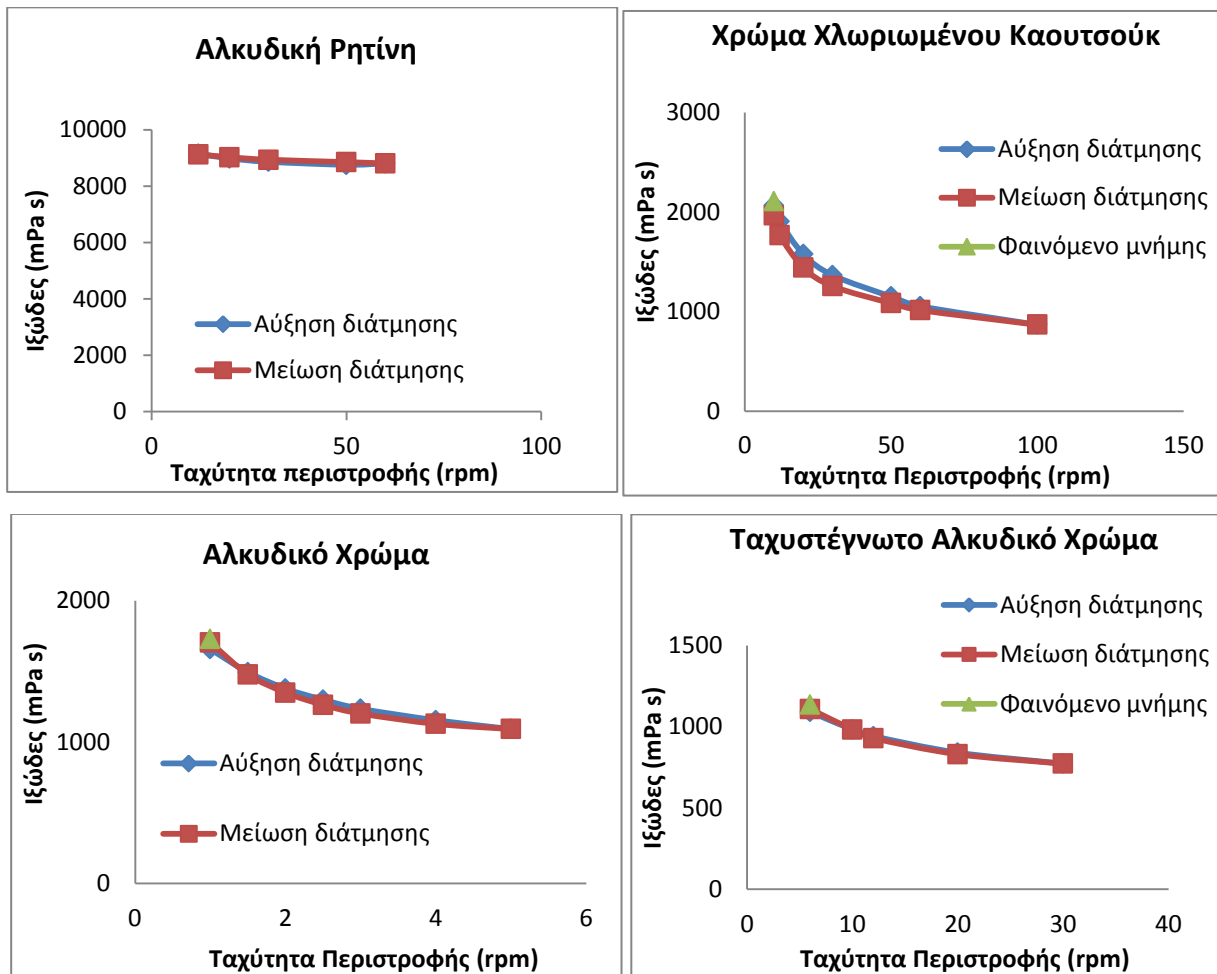
Ο βαθμός θιξοτροπίας υπολογίζεται παίρνοντας το λόγο του ιξώδους στη χαμηλότερη ταχύτητα περιστροφής, όταν βρισκόμαστε στη φάση αύξησης των ταχυτήτων, προς το ιξώδες στη χαμηλότερη ταχύτητα, κατά τη φάση μείωσης των ταχυτήτων. Επιπλέον, ο λόγος μπορεί να υπολογιστεί και με τα ιξώδη των χαμηλότερων ταχυτήτων, πριν και μετά την περίοδο ηρεμίας, δηλαδή χρησιμοποιώντας την τιμή ιξώδους του φαινομένου μνήμης (29). Για τα τέσσερα είδη στα οποία πραγματοποιήθηκε έλεγχος θιξοτροπίας με αναστροφή ταχύτητας, ο βαθμός θιξοτροπίας υπολογίζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 15: Βαθμοί θιξοτροπίας

Δείγμα	Βαθμός θιξοτροπίας 1	Βαθμός θιξοτροπίας 2
Ρητίνη μικρού μήκους λαδιού	1,00	1,00
Αλκυδικό χρώμα	0,97	1,02
Ταχυστέγνωτο αλκυδικό χρώμα	0,98	1,03
Χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ	1,05	1,07

Η απόκλιση από τη μονάδα, αποδεικνύει τη θιξοτροπική συμπεριφορά του υλικού. Για ακόμα μία φορά, αποδεικνύεται ότι οι ρητίνες σε αντίθεση με τα χρώματα, δρουν ως νευτωνικά ρευστά, έχοντας βαθμό θιξοτροπίας ίσο με τη μονάδα.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα για ένα δείγμα.



Διάγραμμα 40: Έλεγχος θιξοτροπίας με αναστροφή ταχύτητας, ρητίνης, χρώματος χλωριωμένου καουτσούκ και αλκυδικών χρωμάτων

Είναι αξιοσημείωτο, ότι ενώ η ρητίνη δεν εμφανίζει θιξοτροπία, τα χρώματα που παράγονται απ' αυτήν εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά. Τα δύο αλκυδικά χρώματα που εξετάζονται δεν φαίνονται να είναι θιξοτροπικά, σε αντίθεση με το χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ, που όπως είχε αποδειχθεί προηγουμένως, εμφανίζει έντονη θιξοτροπία.

6.4.3. Υπολογισμός συντελεστή θιξοτροπίας (thixotropic index)

Προκειμένου να βρεθεί ο δείκτης θιξοτροπίας, βρίσκεται αρχικά το τ_0 για διαφορετικές ταχύτητες διάτμησης. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο λόγος του τ_0 σε μια χαμηλή ταχύτητα, προς το τ_0 σε μια ταχύτητα 10 φορές υψηλότερη. Συνήθεις συνδυασμοί ταχυτήτων είναι 2 με 20 rpm, 5 με 50 rpm και 6 με 60 rpm. Στην περίπτωσή μας, ο υπολογισμός του δείκτη πραγματοποιείται για ταχύτητες 5 και 50 rpm. Ο λόγος που προκύπτει, είναι ο δείκτης της διατμητικής λέπτυνσης (29). Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται ο συντελεστής θιξοτροπίας για ένα δείγμα που έχει μελετηθεί ως προς το τ_0 του.

Πίνακας 16: Συντελεστές θιξοτροπίας

Δείγμα	Συντελεστής θιξοτροπίας
Ρητίνη μικρού μήκους λαδιού	0,87
Αστάρι απόχρωσης RAL 7001	3,48
Αλκυδικό χρώμα απόχρωσης RAL 5021	1,21
Ταχυστέγνωτο αλκυδικό χρώμα απόχρωσης RAL 5021	2,04
Χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ 3500 (red brown)	4,41
Χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ 9206 (light silver)	1,54
Υφαλόχρωμα	1,82

Όσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής θιξοτροπίας, τόσο η συνεκτικότητα του σώματος του χρώματος είναι μεγαλύτερη. Επιπλέον, η εφαρμοσιμότητα των χρωμάτων με υψηλό συντελεστή θιξοτροπίας είναι καλύτερη και το χρώμα αντιστέκεται στο δάκρυσμα (sagging), που προκαλείται εξ' αιτίας των δυνάμεων βαρύτητας κατά την εφαρμογή του σε κατακόρυφες επιφάνειες. Επομένως, την καλύτερη απόδοση δείχνουν να έχουν το αστάρι και το χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ Red/Brown το οποίο περιέχει οξείδια σιδήρου, αφού παρουσιάζουν το μεγαλύτερο συντελεστή θιξοτροπίας.

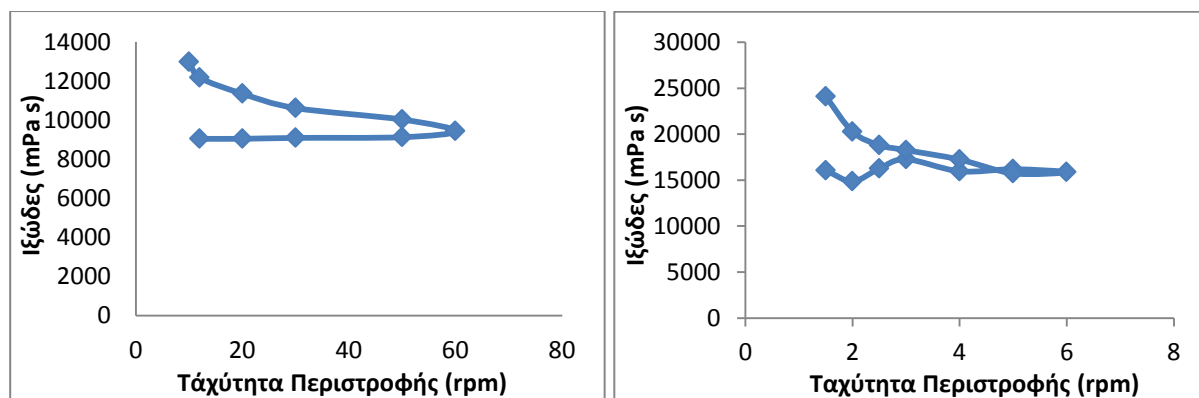
6.5. Σφάλματα

Πλήθος παραγόντων επηρεάζουν τις μετρήσεις ιξώδους. Η θερμοκρασία είναι ένας από τους πιο προφανείς παράγοντες που επηρεάζουν τη ρεολογική συμπεριφορά. Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η επιρροή που έχει η θερμοκρασία στο ιξώδες, στο σύνολο των υλικών που είναι επιρρεπή σε αλλαγές λόγω θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της χρήσης τους (24). Η θερμοκρασία μπορεί να μεταβληθεί και ενδογενώς, λόγω της τριβής που αναπτύσσεται κατά την περιστροφή του άξονα, ειδικότερα στις υψηλές στροφές. Αποτέλεσμα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του δείγματος, η οποία για να παραμείνει σταθερή, πρέπει το δείγμα να βρίσκεται σε θερμοστατούμενο λουτρό.

Μεταβλητές όπως ο τύπος του ιξωδομέτρου, η ταχύτητα σε συνδυασμό με τον επιλεγμένο άξονα, το δοχείο που περιέχει το δείγμα, η παρουσία ή απουσία του προστατευτικού του άξονα, η θερμοκρασία του δείγματος και οι τεχνικές προετοιμασίας του, κτλ, μπορούν να επηρεάσουν όχι μόνο την ακρίβεια της μέτρησης, αλλά και την πραγματική τιμή του ιξώδους του δείγματος (24).

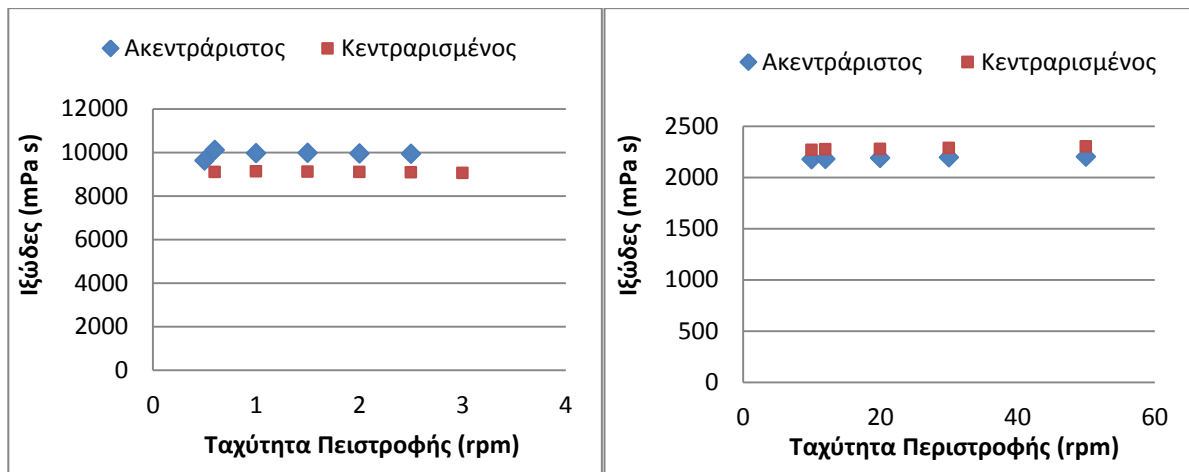
Οι συνθήκες του δείγματος πριν την εξέταση του ιξώδους του, μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα, ειδικά σε ρευστά που δείχνουν ευαισθησία στη θερμοκρασία ή εμφανίζουν το φαινόμενο της γήρανσης. Γι' αυτό το λόγο, οι συνθήκες αποθήκευσης και οι τεχνικές προετοιμασίας του δείγματος πρέπει να είναι πάντοτε σταθερές, ώστε να εκμηδενίζονται οι επιδράσεις στη μέτρηση του ιξώδους (24). Σε μερικές περιπτώσεις, τα δείγματα κατά την παρασκευή τους περιείχαν φυσαλίδες, οι οποίες δημιουργούνται από ανάδευση ή από την τοποθέτηση του θερμομέτρου ή την εισαγωγή/εξαγωγή του άξονα. Οι φυσαλίδες εμποδίζουν την πρόσφυση το ρευστού πάνω στον άξονα με αποτέλεσμα η μέτρηση του ιξώδους να μην είναι ακριβής. Το φαινόμενο παρατηρείται ιδιαίτερα στις ρητίνες.

Οι συνθήκες μέτρησης για ένα υλικό κατά τον προσδιορισμό του ιξώδους μπορεί να παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα της μέτρησης. Γι' αυτό το λόγο, είναι βασικό να υπάρχει καθορισμός και έλεγχος του περιβάλλοντος, καθώς και του ίδιου του δείγματος που υποβάλλεται σε ανάλυση. Ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε σφάλμα, είναι η δημιουργία στερεού υμένα γύρω από τον άξονα, φαινόμενο που εμφανίζεται ιδιαίτερα στις ρητίνες, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η κίνηση και το μετρούμενο ιξώδες να είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό. Τέλος, τυχόν κραδασμοί, ρεύματα αέρα και μεταβολές της θερμοκρασίας του χώρου επηρεάζουν σημαντικά τις μετρήσεις. Αποτελέσματα εσφαλμένων μετρήσεων στο ιξώδες ρητινών, παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 41: Εσφαλμένα τεστ θιξοτροπίας με αναστροφή ταχύτητας σε ρητίνη, λόγω ρευμάτων αέρα

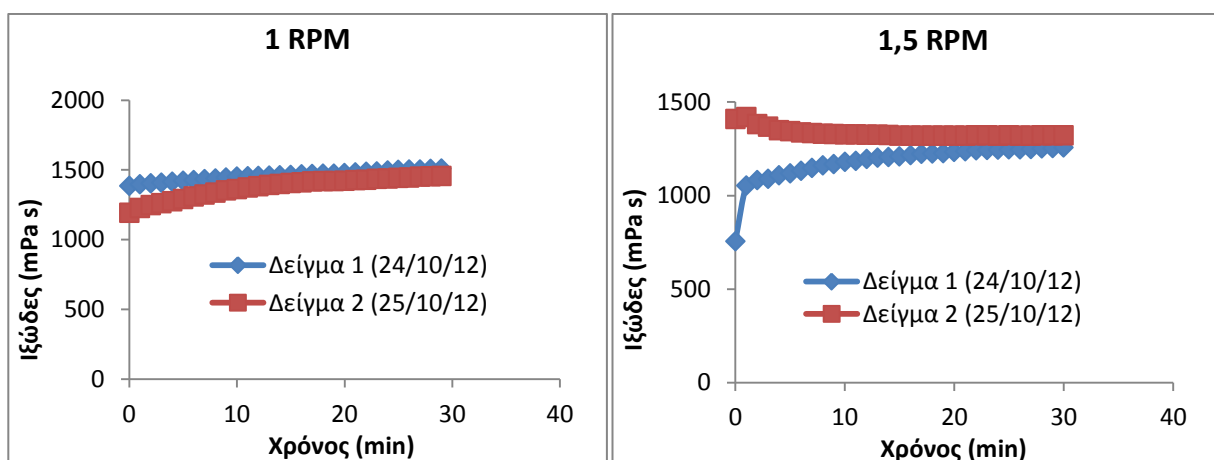
Το δοχείο που περιείχε τα δείγματα ήταν από μαλακό πλαστικό, με αποτέλεσμα, η παραμικρή παραμόρφωση των τοιχωμάτων, να επηρεάζει τη μέτρηση. Γενικότερα, η γεωμετρία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, γι' αυτό υπάρχει και το ενδεχόμενο σφάλματος, λόγω μη σωστής τοποθέτησης του άξονα στο δείγμα, ο οποίος πρέπει να είναι πάντα κεντρικά τοποθετημένος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το ακόλουθο, στο οποίο γίνεται φανερή η επίδραση της τοποθέτησης του άξονα εντός του δοχείου. Οι μετρούμενες τιμές ιξώδους, άλλοτε είναι υψηλότερες κι άλλοτε χαμηλότερες από τις πραγματικές.



Διάγραμμα 42: Τιμές ιξώδους ρητίνης μεγάλου μήκους λαδιού άξονα L2 (αριστερά) και μικρού μήκους λαδιού για άξονα L3 (δεξιά)

Η σύσταση ενός υλικού είναι ο καθοριστικός παράγοντας του ιξώδους του. Όταν η σύσταση αλλάζει είτε μεταβάλλοντας τα ποσοστά περιεκτικότητας κάποιου συστατικού είτε προσθέτοντας άλλα συστατικά, σημαντικές αλλαγές μπορεί να προκληθούν στο ιξώδες του (24). Κατά τη διάρκεια της μέτρησης τόσο του χρώματος όσο και της ρητίνης, το δοχείο που περιείχε το δείγμα, παρέμενε ανοιχτό, με αποτέλεσμα να εξατμίζεται διαλύτης κι επομένως το μετρούμενο ιξώδες να είναι μεγαλύτερο του πραγματικού. Το φαινόμενο αυτό ήταν εντονότερο στις μετρήσεις με τον άξονα L1, διότι οι ταχύτητες περιστροφής ήταν πολύ μικρές.

Επιπλέον, σε περίπτωση επανάληψης της μέτρησης την επόμενη ημέρα, παρ' όλο που το δείγμα φυλάσσεται σε κατάλληλα σφραγισμένο δοχείο, παρατηρείται έντονη καθυστέρηση στην εμφάνιση της σωστής τιμής ιξώδους, όπως παρουσιάζεται στα ακόλουθα διαγράμματα. Μόνο μετά το πέρας 30min, οι τιμές δείχνουν να συγκλίνουν, κάτι που αποδεικνύει ότι σε περίπτωση βιαστικής λήψης μέτρησης, υπεισέρχεται μεγάλο σφάλμα.



Διάγραμμα 43: Ιξώδες αλκυδικού χρώματος μετρημένο δύο διαδοχικές ημέρες με τον άξονα L1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Έλεγχος απόχρωσης

Ο έλεγχος της απόχρωσης στη συγκεκριμένη περίπτωση, πραγματοποιείται ποιοτικά, με σύγκριση της πρότυπης απόχρωσης κατά RAL με το παραγόμενο χρώμα. Η ποιοτική σύγκριση πρέπει να γίνεται σε χώρο με ειδικό φωτισμό που προσομοιάζει το φως του ηλίου. Όλες οι αποχρώσεις RAL περιλαμβάνονται σε μια βεντάλια και η κάθε μια περιγράφεται από έναν κωδικό.



Εικόνα 16: Πρότυπη βεντάλια αποχρώσεων RAL

Παρακάτω, παρατίθενται η πρότυπη απόχρωση και εν συνεχεία, η κάρτα ποιοτικού ελέγχου του παραγόμενου αλκυδικού ναυτιλιακού χρώματος, σε πάχος 200μm, η οποία έχει σαρωθεί ηλεκτρονικά.



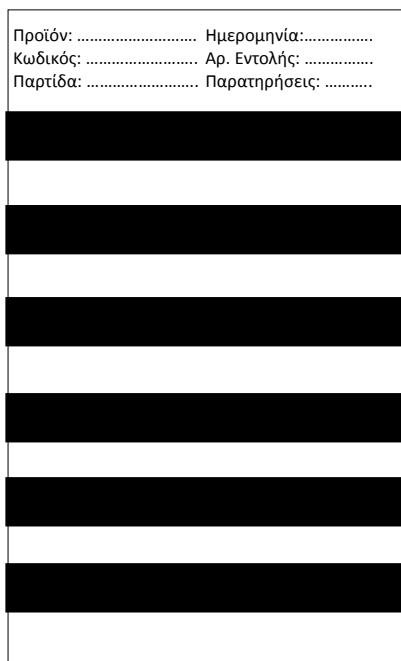
Εικόνα 17: Αριστερά: Πρότυπη απόχρωση RAL 5021⁵ Water Blue (30) Δεξιά: Παραγόμενο αλκυδικό χρώμα απόχρωσης RAL 5021

Όπως γίνεται φανερό, οι δυο αποχρώσεις είναι πολύ κοντινές. Για καλύτερη σύγκριση, τοποθετείται η μία κάρτα επάνω στην άλλη, ώστε να διακριθούν τυχόν διαφορές. Αν γίνουν αντιληπτές έντονες διαφορές, πραγματοποιούνται μικροπροσθήκες χρωστικών για τη διόρθωση της απόχρωσης.

⁵ Οι πραγματικές αποχρώσεις είναι καλύτερα διακριτές στη βεντάλια RAL. Σε ηλεκτρονική μορφή υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάλογα με τον Η/Υ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Έλεγχος Καλυπτικότητας

8.1. Οργανολογία

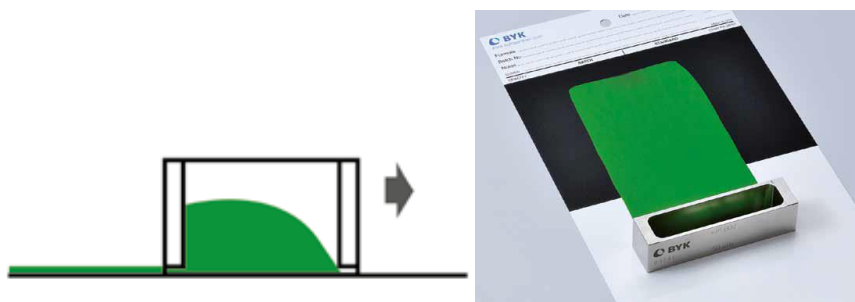


Η καλυπτικότητα σε αντιστοιχία με την απόχρωση, ελέγχεται με τις κάρτες ποιοτικού ελέγχου. Εξετάζεται έτσι η ικανότητα του χρώματος να καλύπτει τη διαφορά μαύρου / άσπρου, σε διάφορα πάχη. Επιλέγεται γι' αυτό το λόγο μια ριγέ κάρτα όπως φαίνεται ενδεικτικά δίπλα.

Στην κάρτα ποιοτικού ελέγχου αναγράφονται όλα τα στοιχεία του παραγόμενου χρώματος, όπως η ονομασία του, ο κωδικός του, ο αριθμός παρτίδας, η ημερομηνία παραγωγής, ο αριθμός εντολής και τυχόν παρατηρήσεις.

Εικόνα 18: Κάρτα καλυπτικότητας

Σε αυτή, εφαρμόζεται με ειδικό εφαρμογέα (applicator) το χρώμα. Ο διατιθέμενος εφαρμογέας είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο ατσάλι και επιτρέπει την εφαρμογή χρώματος σε τέσσερα διαφορετικά πάχη, αυτά των 30μm, 60μm, 90μm και 120μm. Η αρχή λειτουργίας του περιγράφεται στο ακόλουθο σχήμα:

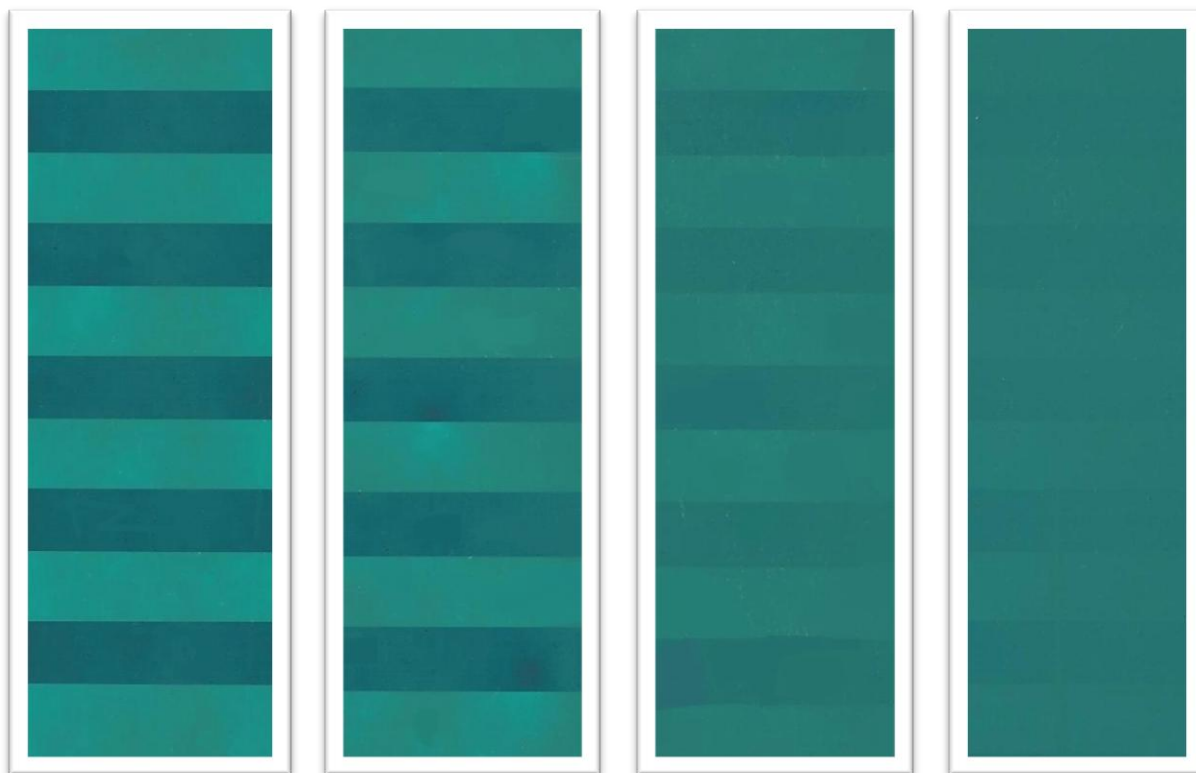


Εικόνα 19: Αριστερά: Αρχή λειτουργίας εφαρμογέα Δεξιά: Εφαρμογή χρώματος σε κάρτα καλυπτικότητας (16)

Τα πλαϊνά άκρα του εφαρμογέα βρίσκονται σε πλήρη επαφή με την επιφάνεια της κάρτας. Οι ακμές όμως αφήνουν ένα διάκενο σε σχέση με την επιφάνεια, ίσο με το επιθυμητό πάχος υμένα. Καθώς ο εφαρμογέας σαρώνει την κάρτα, επιτρέπει στο χρώμα να εφαρμοστεί στην επιφάνεια αποξαιίνοντας την περίσσεια χρώματος και αφήνοντας το επιθυμητό πάχος.

8.2. Καλυπτικότητα συναρτήσσει πάχους υγρού υμένα

Με τον εφαρμογέα (applicator) των τεσσάρων διαφορετικών παχών υγρού υμένα, κατασκευάζονται οι ακόλουθες κάρτες καλυπτικότητας:



Εικόνα 20: Από αριστερά προς τα δεξιά: Πάχη υγρού υμένα 30μm, 60μm, 90μm και 120μm

Όπως φαίνεται ξεκάθαρα, η βέλτιστη κάλυψη επιτυγχάνεται για πάχους υγρού υμένα 120μm. Επιδιωκόμενος στόχος επομένως για κάθε ναυτιλιακό και βιομηχανικό χρώμα, είναι η τέλεια κάλυψη σε πάχος υγρού υμένα 120μm, που προσομοιάζει την εφαρμογή μιας στρώσης χρώματος με αερογράφο (πιστόλι υψηλής πίεσεως – airless). Το σύστημα αυτό βαφής, εφαρμόζεται κατά κόρων στη συντήρηση των караβιών κατά τον εξωλιμενισμό τους. Ακόμα και στην περίπτωση που δεν επιτευχθεί τέλεια κάλυψη στα 120μm, πάντοτε εφαρμόζεται και δεύτερη στρώση, με αποτέλεσμα το επιθυμητό αποτέλεσμα κάλυψης να επιτυγχάνεται.

Πρέπει να τονιστεί, ότι το τελικό φιλμ (πάχος ξηρού υμένα) είναι περίπου 50% μειωμένο από το πάχος του υγρού υμένα που εφαρμόστηκε. Η μείωση που προκύπτει κάθε φορά διαφοροποιείται, ανάλογα με τα στερεά που περιέχονται στο χρώμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Έλεγχος Πυκνότητας (Ειδικού βάρους)

9.1. Αρχή λειτουργίας

Για τη μέτρηση της πυκνότητας ή αλλιώς ειδικού βάρους, αξιοποιείται ο ορισμός της πυκνότητας, δηλαδή η ποσότητα ύλης που χωράει σε συγκεκριμένο όγκο, και περιγράφεται από τη σχέση:

$$\rho = \frac{m \text{ (gr)}}{V \text{ (mL)}} \text{ ή } \frac{(Kg)}{(L)}$$

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο όρος ειδικό βάρος δεν συγγέεται με την πυκνότητα, μιας και οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στου 23 °C, δηλαδή σε θερμοκρασία δωματίου, όπου η πυκνότητα του νερού είναι ίση με 1 gr/lit.

9.2. Οργανολογία

Για τη μέτρηση της πυκνότητας, απαιτείται ένα πυκνόμετρο, δηλαδή ένα βαθμονομημένο δοχείο γνωστού όγκου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέγεται το πρότυπο κατά ISO, δοχείο των 100ml. Το δοχείο είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα και αποτελείται από το κυρίως σώμα και το καπάκι. Το καπάκι είναι διάτρητο στο κέντρο, ώστε να απελευθερώνεται από το άνοιγμα η περίσσεια χρώματος που έχει εισέλθει στο δοχείο και ο όγκος να είναι πάντα σταθερός.



Εικόνα 21: Δοχείο πυκνότητας 100ml κατά ISO (16)

Επιπλέον, απαιτείται η χρήση ζυγού, ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί ζύγιση του πληρωμένου δοχείου.

9.3. Πειραματική διαδικασία

- Ζυγίζουμε άδειο το δοχείο και καταγράφουμε το βάρος.
- Θερμομετρούμε το χρώμα και σύμφωνα με το πρότυπο θερμαίνουμε ή ψύχουμε, ώστε το χρώμα να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία (23°C ± 2, κατά ISO).
- Γεμίζουμε το δοχείο.
- Κλείνουμε το δοχείο με το πώμα.
- Αποφεύγουμε τον εγκλωβισμό φυσαλίδων.
- Απομακρύνουμε το χρώμα που έχει υπερχειλίσει από την οπή του πώματος.
- Ζυγίζουμε το πληρωμένο δοχείο.
- Υπολογίζουμε την πυκνότητα (16).

9.3. Αποτελέσματα

Για όλα τα δείγματα χρωμάτων τα οποία μελετήθηκαν ως προς το ιξώδες τους, εξετάστηκε το ειδικό τους βάρος, το οποίο παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. Το ειδικό βάρος εκφράζει την περιεκτικότητα σε στερεά και αποτελεί δείκτης της ποιότητας των χρωμάτων. Υψηλό ειδικό βάρος, δηλώνει μεγάλη περιεκτικότητα σε πληρωτικά, όμως για κάθε χρώμα το ειδικό βάρος είναι διαφορετικό και εξαρτάται αποκλειστικά από τη σύστασή του.

Μια μικρή διαφορά παρατηρείται στα ειδικά βάρη των αλκυδικών χρωμάτων της ίδιας απόχρωσης. Τα δύο αυτά αλκυδικά χρώματα, βασίζονται στην ίδια συνταγή, διαφοροποιείται όμως η βάση, που στην περίπτωση του απλού αλκυδικού είναι ρητίνη μεγάλου μήκους λαδιού, ενώ για το ταχυστέγνωτο απαιτείται ρητίνη μικρού μήκους λαδιού. Εμμέσως, διαφοροποιείται και ο διαλύτης και από White Spirit, μεταβαίνουμε σε ξυλόλη για την αραιώση του ταχυστέγνωτου. Οι χρωστικές είναι οι ίδιες, για να επιτευχθεί η ίδια απόχρωση και καλυπτικότητα. Παρ' όλα αυτά, το ειδικό βάρος του απλού είναι ελαφρώς μικρότερο απ' αυτό του ταχυστέγνωτου, γεγονός που αποδεικνύει ότι το ειδικό βάρος σε αυτή την περίπτωση επηρεάζεται από τα στερεά της εκάστοτε ρητίνης και τα πληρωτικά.

Επιπλέον, είναι αξιοπρόσεκτο, ότι το ειδικό βάρος του ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος, παραμένει ίδιο σε διάφορες παρτίδες, γεγονός που φανερώνει ότι η παραγωγή είναι τυποποιημένη και τα προϊόντα καλύπτουν πάντα τις προδιαγραφές, ακολουθώντας το σύστημα ISO 9001.

Τέλος, υψηλότερο ειδικό βάρος, δείχνουν να έχουν το αστάρι και το υφαλόχρωμα, κάτι που είναι απολύτως λογικό, αν λάβουμε υπόψη ότι μέσα στα αστάρια περιέχονται οξειδία μετάλλων όπως, TiO_2 , ZnO , Fe_xO_y , τα οποία έχουν υψηλό ειδικό βάρος. Μάλιστα, στο υφαλόχρωμα., περιέχεται υψηλό ποσοστό Cu_2O (περί του 30-40%), το οποίο έχει ειδικό βάρος $6gr/cm^3$ (31), με αποτέλεσμα να αυξάνει κατά πολύ το ειδικό βάρος του χρώματος.

Πίνακας 17: Ειδικά βάρη

Δείγμα	Πυκνότητα (gr/ml) - Ειδικό βάρος
Αστάρι απόχρωσης RAL 7001	1,50
Αλκυδικό χρώμα απόχρωσης 5021	0,99
Ταχυστέγνωτο αλκυδικό χρώμα απόχρωσης 5021 (Παρτίδα 130401)	1,02
Ταχυστέγνωτο αλκυδικό χρώμα απόχρωσης 5021 (Παρτίδα 130421)	1,02
Χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ 9206 (light silver)	1,31
Υφαλόχρωμα	1,65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Έλεγχος χρόνου στεγνώματος

Στο κεφάλαιο αυτό, θα μελετηθεί ο χρόνος στεγνώματος αλκυδικών χρωμάτων και θα πραγματοποιηθεί σύγκριση ανάμεσα σε ένα απλό, ένα ταχυστέγνωτο και ένα ταχυστέγνωτο χρώμα με πρόσθετα στεγνωτικά μέσα. Τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα, αλλά ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαφορά στο χρόνο στεγνώματος και η επίδραση των προσθέτων.

10.1. Πειραματική διαδικασία

Για την αξιοπιστία των μετρήσεων, είναι απαραίτητο όλα τα δείγματα να ετοιμαστούν εις διπλούν. Οι επιστρώσεις μπορούν να εφαρμοστούν σε κατάλληλων διαστάσεων γυάλινα ή μεταλλικά δοκίμια, που να προσομοιάζουν το πραγματικό υπόστρωμα. Τα επικαλυμμένα δοκίμια τοποθετούνται οριζοντίως σε προστατευμένο χώρο από σκόνη. Η εφαρμογή του χρώματος πραγματοποιείται με κατάλληλο εφαρμογέα όπως έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 8, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό πάχος υγρού υμένα (150μm). Το πάχος ξηρού υμένα, μετράται με κατάλληλο παχύμετρο (μικρόμετρο). Σε περίπτωση έλλειψης παχυμέτρου, το πάχος ξηρού υμένα μπορεί να υπολογιστεί με ζύγιση των δοκιμίων πριν και μετά την εφαρμογή του χρώματος, βάση των περιεχόμενων στερεών. Επειδή τα εξεταζόμενα χρώματα είναι αλκυδικά (ελαιοχρώματα) το πάχος ξηρού υμένα που θα εφαρμοστεί βάση της μεθόδου (32), πρέπει να είναι $1,8 \pm 0,2$ mils ($\sim 45,7$ μm). Ο τύπος υπολογισμού είναι ο ακόλουθος:

$$DFT = \% \text{ Περιεκτικότητα κατ'όγκο στερεών} \cdot WFT \quad (33)$$

Όπου: DFT = πάχος ξηρού υμένα

WFT = πάχος υγρού υμένα

Ο έλεγχος στεγνώματος πρέπει να γίνει σε απόσταση όχι μικρότερη από 1cm από τις ακμές του δοκιμίου. Οι έλεγχοι πρέπει να γίνονται σε συχνά και σταθερά χρονικά διαστήματα, όπως 5min, 15min ή 1 ώρα, ανάλογα με την ταχύτητα του χρόνου στεγνώματος. Συνήθως πραγματοποιούνται οι ακόλουθοι προκαταρκτικοί έλεγχοι στεγνώματος (32):

1. Set – to – touch: Στέγνωμα αφής, κατά το οποίο, δεν απομένει χρώμα στο δάχτυλο μετά από άγγιγμα της επιφάνειας, παρά μόνο μια κολλώδης αίσθηση.
2. Dust – free: Πραγματοποιείται ρίχνοντας βαμβακερές ίνες στο δείγμα ή κόκκους ανθρακικού ασβεστίου και ελέγχοντας την προσκόλληση και δυνατότητα απομάκρυνσής τους.

Στη συνέχεια, μπορούν να πραγματοποιηθούν ακριβέστεροι έλεγχοι στεγνώματος, όπως το tack – test (μηχανικός έλεγχος στεγνώματος βασισμένος στη πατέντα U.S. 2,406,989 3/9/1946) ή η ολική ξήρανση, που περιλαμβάνει έλεγχο σκλήρυνσης και έλεγχο επαναβαφής.

Ο έλεγχος σκλήρυνσης περιλαμβάνει μια δοκιμή με πίεση και στριφογύρισμα του αντίχειρα πάνω στο εφαρμοζόμενο χρώμα, κρατώντας σταθερό το χέρι και στη συνέχεια λείανση της επιφάνειας με μαλακό ύφασμα. Σε περίπτωση που το σημάδι εξαφανιστεί μέσω της λείανσης, ο χρόνος σκλήρυνσης έχει ολοκληρωθεί (32).

Ο έλεγχος επαναβαφής πραγματοποιείται με εφαρμογή δεύτερο στρώματος χρώματος, παρατηρώντας τυχόν αλλοιώσεις της επιφάνειας, όπως αναδιπλώσεις ή έλλειψη πρόσφυσης του πρώτου στρώματος. Ο χρόνος στεγνώματος του δεύτερου στρώματος δεν πρέπει να υπερβαίνει το χρόνο στεγνώματος του πρώτου στρώματος (32).

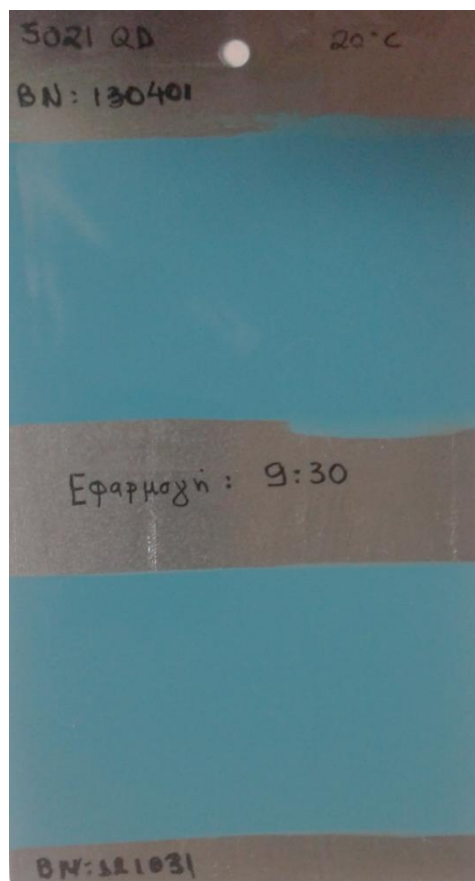
10.2. Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα του χρόνου στεγνώματος για τα τρία δείγματα, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα, για τις δοκιμές στεγνώματος που πραγματοποιήθηκαν.

Πίνακας 18: Χρόνοι στεγνώματος

Δοκιμή Στεγνώματος	Απλό αλκυδικό	Ταχυστέγνωτο αλκυδικό	Ταχυστέγνωτο με πρόσθετα στεγνωτικά
Set – to – touch	60 min	20 min	10 min
Hard Dry	7 hr	5 hr	4 hr

Όπως είναι φανερό, τα στεγνωτικά μέσα επιδρούν ιδιαίτερα στην επιφανειακή ξήρανση, γι' αυτό το λόγο ο χρόνος στεγνώματος αφής είναι ο μισός συγκριτικά με τα άλλα χρώματα κατά την εφαρμογή τους. Αντιθέτως, ως προς την ολική ξήρανση, η βελτίωση που επιφέρουν δεν είναι ιδιαίτερος σημαντική. Το απλό αλκυδικό χρώμα όπως είναι φυσικό, δεν μπορεί να συναγωνιστεί τους χρόνους στεγνώματος των ταχυστέγνωτων.



Εικόνα 22: Δοκίμιο ελέγχου χρόνου στεγνώματος, απλού ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος και ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος με πρόσθετα στεγνωτικά μέσα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: Μελέτη επιφάνειας με οπτική μικροσκοπία

11.1. Οργανολογία

11.1.1. Μικροσκόπιο οπτικών ινών

Αρχή λειτουργίας

Η μέθοδος του μικροσκοπίου οπτικών ινών στηρίζεται στις οπτικές επικοινωνίες, οι οποίες χρησιμοποιούν φως αντί ηλεκτρικού ρεύματος ως φορέα των σημάτων και οπτικές ίνες αντί μεταλλικών αγωγών για την μετάδοσή τους. Το προς μετάδοση ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται στο ένα άκρο της οπτικής ζεύξης κατά κανόνα σε ακολουθία ψηφιακών παλμών που διοχετεύονται στην οπτική ίνα. Στο άλλο άκρο της ζεύξης ανιχνεύονται οι παλμοί και μετατρέπονται στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα. Η οπτική ίνα αποτελείται από υαλώδες κυλινδρικό πυρήνα και περίβλημα από το ίδιο υλικό με ελαφρά μικρότερο δείκτη διάθλασης απ' αυτόν του πυρήνα. Αυτό έχει ως συνέπεια, όταν η ακτίνα φωτός εισέρχεται στην ίνα υπό κατάλληλη γωνία, να ανακλάται διαδοχικά στο περίβλημα και να μεταδίδεται παγιδευμένη στην ίνα (17).

Πειραματική διάταξη

Το μικροσκόπιο οπτικών ινών πρόκειται για ένα φορητό μικροσκόπιο, εύχρηστο με το οποίο μπορεί να εξεταστεί επί τόπου ολόκληρη η επιφάνεια, χωρίς να απαιτείται προ – κατεργασία. Τα κυριότερα τμήματα της συσκευής είναι (17):

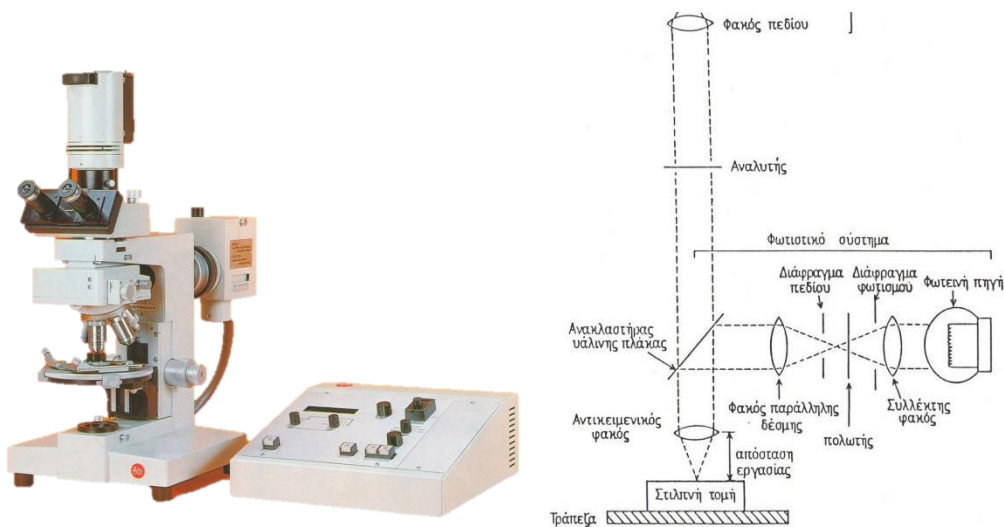
- Λάμπα αλογόνου που λειτουργεί στα 100W
- Έλεγχος έντασης φωτός
- Σύστημα εστίασης
- Αντικειμενικοί φακοί

11.1.2. Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο

Αρχή λειτουργίας

Η οπτική μικροσκοπία (OM) είναι μια μέθοδος παρατήρησης και ερμηνείας της μικροδομής των υλικών. Η πηγή ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται συνήθως, είναι λευκό φως, με διακριτική ικανότητα περίπου 200nm (μεγεθυντική ικανότητα x 1000) και βάθος πεδίου της ίδιας περίπου τάξης (34).

Πειραματική διάταξη



Εικόνα 23: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο και διάγραμμα λειτουργίας αυτού (35)

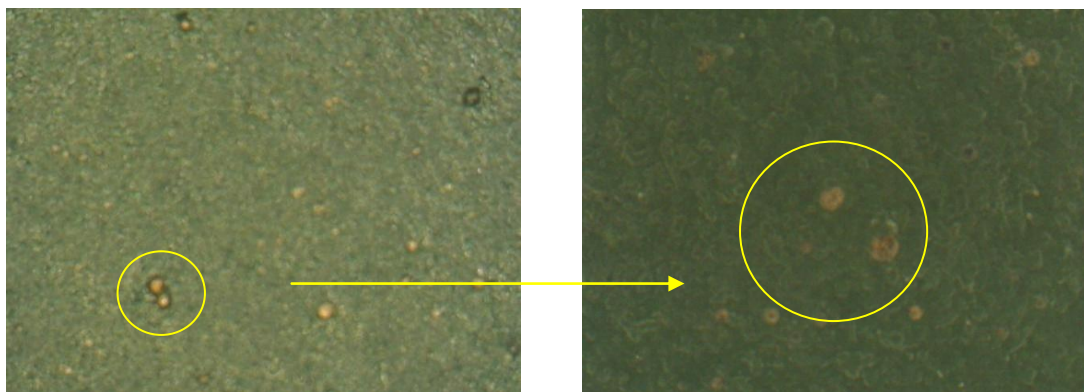
11.2. Πειραματική διαδικασία

Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται ένα χρώμα χλωριωμένου καουτσούκ που προορίζεται για βαφή με εμβάπτιση (dip coating). Το χρώμα εφαρμόζεται σε μεταλλικό υπόστρωμα, προσομοιάζοντας την πραγματική μέθοδο βαφής.

Η ανάλυση του δείγματος, πραγματοποιείται με φορητό μικροσκόπιο οπτικών ινών και τα αποτελέσματα διασταυρώνονται με τη βοήθεια οπτικού μικροσκοπίου (μεταλλογραφικό). Κατά τη διαδικασία της μικροσκοπικής εξέτασης με το μικροσκόπιο οπτικών ινών, το φως πρέπει να πέφτει κατακόρυφα στην επιφάνεια του δείγματος και να ανακλάται πίσω διαμέσου αντικειμενικών φακών. Και τα δύο όργανα είναι συνδεδεμένα με ηλεκτρονικό υπολογιστή, ώστε τα αποτελέσματα να μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή και να είναι επεξεργάσιμα.

11.3. Αποτελέσματα

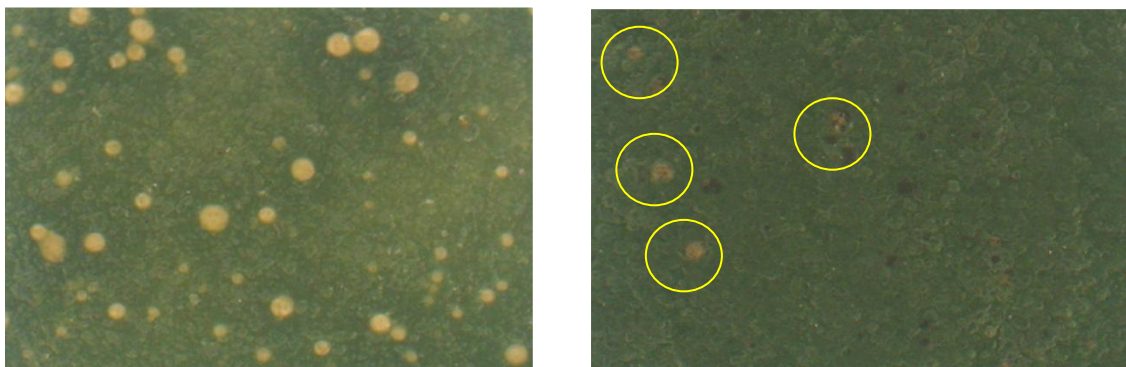
Τα αποτελέσματα της μελέτης επιφανείας που προκύπτουν από τα δύο μικροσκόπια, παρουσιάζονται στις κάτωθι εικόνες. Για συγκριτικούς λόγους, εκτός από το μεταλλικό δοκίμιο, εξετάζεται και η κάρτα καλυπτικότητας που δημιουργήθηκε κατά τον ποιοτικό έλεγχο. Το δείγμα υπόκειται σε μικροσκοπικό έλεγχο, καθώς μακροσκοπικά, είναι εμφανείς ατέλειες και προβληματικά σημεία.



Εικόνα 24: Αριστερά: μεγέθυνση X50, Δεξιά: Μεγέθυνση X120 (Μεταλλικό δείγμα, Οπτικών ινών)

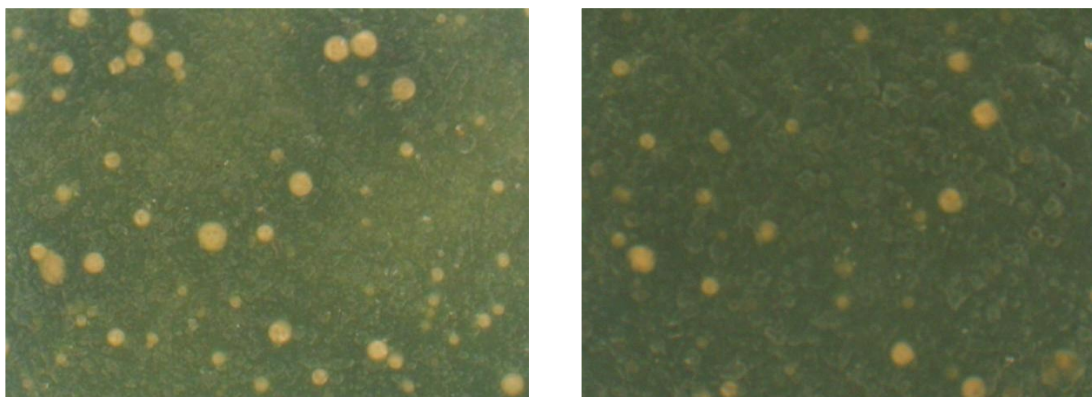
Όπως είναι εμφανές από τις ανωτέρω εικόνες, η επιφάνεια δεν είναι λεία, αλλά αντιθέτως, εμφανίζονται κάποιες ατέλειες. Αυτές, είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλη την επιφάνεια του δείγματος, δηλαδή έχουν κανονική διασπορά. Μάλιστα, είναι ευδιάκριτες και μακροσκοπικά, γεγονός που απορρίπτει την περίπτωση τυχαίας εμφάνισης.

Το φαινόμενο είναι επομένως γενικό και οφείλεται στο υλικό και όχι στο υπόστρωμα, όπως αποδεικνύεται και από την κάρτα ποιοτικού ελέγχου, στην οποία είναι πάλι εμφανείς αυτές οι ανωμαλίες, αρκετά εντονότερα, καθώς για την ίδια μεγέθυνση (X120), εμφανίζονται πολλές περισσότερες απ' ό,τι στη μεταλλική επιφάνεια.



Εικόνα 25: Αριστερά: Κάρτα ποιοτικού ελέγχου, Δεξιά: Μεταλλική επιφάνεια
(Μεγέθυνση X120, Οπτικών ινών)

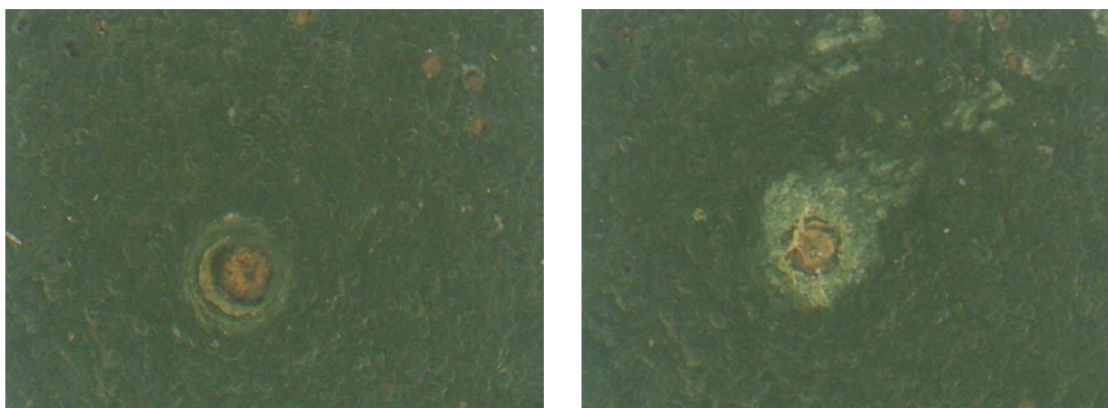
Επιπλέον, παρατηρούμε, ότι οι ανωμαλίες στην κάρτα ποιοτικού ελέγχου είναι μεγαλύτερες. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από τον τρόπο εφαρμογής του χρώματος στις δύο περιπτώσεις. Στην περίπτωση του μεταλλικού δοκιμίου, η εφαρμογή έχει πραγματοποιηθεί με βούτα, όπως ορίζεται, με αποτέλεσμα το πάχος του επιστρώματος να είναι πολλά μμ. Αντιθέτως, στην κάρτα ποιοτικού ελέγχου, η εφαρμογή γίνεται με ειδικό εργαλείο, που δημιουργεί επίστρωμα πάχους 120μμ. Είναι επομένως λογικό, ότι σε μεγαλύτερα πάχη, οι ανωμαλίες είναι λιγότερο εμφανείς, κάτι που αποδεικνύεται και από την ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 26: Αριστερά: Πάχος 120μm. Δεξιά: Πάχος > 120μm. (Μεγέθυνση X120, οπτικών ινών)

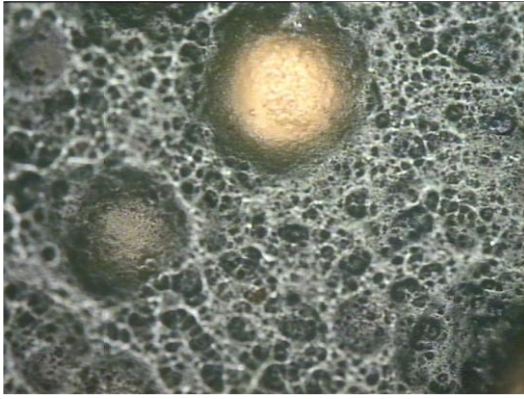
Σε αυτό το σημείο, πρέπει να προσδιοριστεί η φύση των ανωμαλιών, ώστε να διευκρινιστεί, αν πρόκειται για φυσαλίδες αέρα που έχουν προκύψει κατά την ανάδευση ή την εφαρμογή, ή συσσωματώματα κάποιου εκ των υλικών που συνιστούν το χρώμα, π.χ. ρητίνης ή χλωριωμένου καουτσούκ.

Για να γίνει ο προσδιορισμός, ακολουθείται η εξής διαδικασία: Επιλέγεται ένα σημείο του μεταλλικού δοκιμίου που να φαίνεται ευδιάκριτα μια ανωμαλία. Ακολουθώντας, χαράσσεται ένα πλαίσιο γύρω από αυτήν και εν συνεχεία κόβεται η ανωμαλία με νυστέρι. Τα αποτελέσματα πριν και μετά την κοπή εμφανίζονται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 27: Αριστερά: Πριν την κοπή, Δεξιά: Μετά την κοπή. (Μεγέθυνση X120, οπτικών ινών)

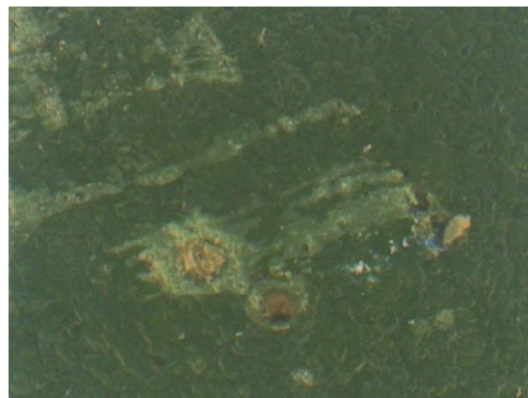
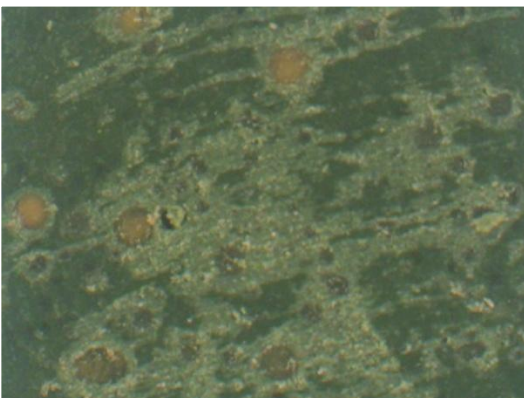
Στην περίπτωση που ήταν φυσαλίδα αέρος, μετά την κοπή, θα παρουσιαζόταν το υπόστρωμα, δηλαδή η μεταλλική επιφάνεια. Στην περίπτωσή μας όμως, παρατηρούμε ότι η ανωμαλία είναι συμπαγής και αποτελείται από ένα ρητινώδες υλικό. Το συγκεκριμένο, απεικονίζεται καλύτερα στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, το οποίο επιτυγχάνει μεγαλύτερη μεγέθυνση.



Εικόνα 28: Αριστερά: Πριν την κοπή, Δεξιά: Μετά την κοπή (Μεγέθυνση X200, μεταλλογραφικό)

Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, μας δίνει καλύτερα αποτελέσματα, καθώς είναι ευδιάκριτες πλέον οι χαραγές που έχουν προκληθεί στην ανωμαλία κατά την κοπή της από το νυστέρι, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι συμπαγής.

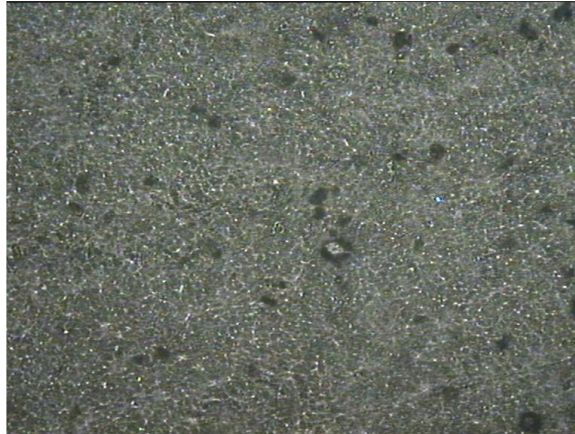
Για να αποφευχθεί η παραμικρή αμφιβολία, η αντίστοιχη διαδικασία εφαρμόστηκε και στην κάρτα ποιοτικού ελέγχου, αυτή τη φορά όμως σε μια ευρύτερη περιοχή, για ένα σύνολο ανωμαλιών. Τα αποτελέσματα φαίνονται ακολούθως.



Εικόνα 29: Αριστερά: Πάχος >120μm, Δεξιά: Πάχος 120μm (Μεγέθυνση X120, οπτικών ινών)

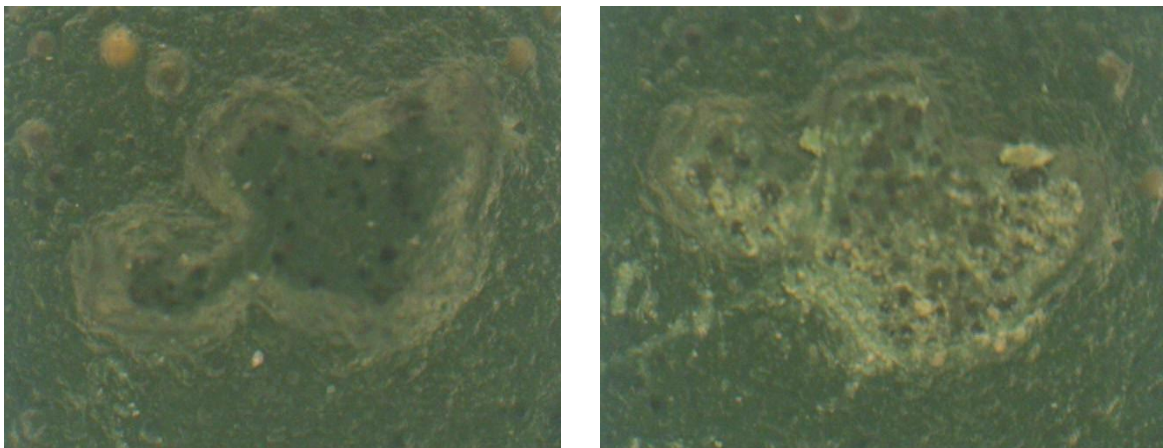
Παρατηρούμε ότι και στην περίπτωση της κάρτας, ότι οι ανωμαλίες μετά την κοπή τους παραμένουν συμπαγείς, επομένως είναι συσσωματώματα. Στην αντίθετη περίπτωση, έπρεπε μετά την κοπή να αποκαλύπτεται η λευκή επιφάνεια της κάρτας ποιοτικού ελέγχου.

Τα συσσωματώματα αυτά, πιθανότατα προκλήθηκαν λόγω ανεπάρκειας του χρόνου λειοτρίβησης είτε λόγω κροκίδωσης κατά την ανάμιξη, λόγω ανεπάρκειας διασπορέα. Καταλήγουμε σε αυτό το συμπέρασμα, καθώς στην περίπτωση που το χρώμα κατά την εφαρμογή του στο μεταλλικό δοκίμιο τρίφτηκε όσο ήταν υγρό, δεν εμφανίστηκε καμία ανωμαλία, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της οπτική μικροσκοπίας.



Εικόνα 30: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Μεγέθυνση X100. Εφαρμογή με τρίψιμο στη μεταλλική επιφάνεια.

Τέλος, η οπτική μικροσκοπία εξυπηρετεί στον εύρεση τυχόν ακαθαρσιών στην επιφάνεια της επίστρωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελούν κόκκοι χρωστικών ουσιών που δεν έχουν λειοτριβηθεί πλήρως ή δε συγκρατήθηκαν κατά τη φίλτραυση, όπως φαίνεται παρακάτω.



**Εικόνα 31: Αριστερά: Κόκκος στην κάρτα ποιοτικού ελέγχου, Δεξιά: Κόκκος μετά την απόξεση
(Μεγέθυνση x120, οπτικών ινών)**

Όπως είναι εμφανές, τόσο πριν, όσο και μετά την απόξεση του κόκκου, είναι ευδιάκριτα μαύρα στίγματα, τα οποία προέρχονται πιθανότατα από μαύρη χρωστική ουσία, που δε διασπάρθηκε επαρκώς, αλλά συσσωρεύτηκε δημιουργώντας τον κόκκο. Ειδικότερα, κατά την απόξεση του κόκκου, φανερώνονται έντονοι κρατήρες που έχουν εγκλωβίσει στο εσωτερικό τους τη μαύρη χρωστική.

Γ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σε κάθε παραγωγική διαδικασία, προκειμένου τα προϊόντα να είναι αξιόπιστα και σύμφωνα πάντα με τις προδιαγραφές, είναι απαραίτητος ο συνεχής ποιοτικός έλεγχος της κάθε παρτίδας και η καθιέρωση ενός συγκεκριμένου τρόπου ελέγχου, που να προσδίδει αξιοπιστία και ακρίβεια. Επίσης, θα πρέπει τα όργανα που χρησιμοποιούνται να είναι κατάλληλα προσαρμοσμένα για την ανάλυση έκαστου προϊόντος. Ακόμα, οι πρώτες ύλες πρέπει να είναι αυστηρώς επιλεγμένες και ελεγμένες, ώστε το τελικό προϊόν να πληροί όλες τις προδιαγραφές. Επομένως, δεν αρκεί μόνο ο έλεγχος του παραγόμενου προϊόντος, αλλά απαιτείται επίσης έλεγχος του κάθε συστατικού.

Στην παρούσα εργασία, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στο ιξώδες, το οποίο είναι μια από τις κυριότερες ιδιότητες των χρωμάτων που προσδιορίζει το σύνολο της ρεολογικής του συμπεριφοράς. Με τη μελέτη του ιξώδους, επιτυγχάνεται έλεγχος των περισσότερων σταδίων του κύκλου ζωής του χρώματος, από την παραγωγή του και την αποθήκευσή του, έως την εφαρμογή του. Φαινόμενα όπως το δάκρυσμα (sagging) ή το άπλωμα (leveling), μπορούν να προσδιοριστούν μέσω της μελέτης του ιξώδους, καθώς επίσης και άλλες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την παραγωγή του χρώματος.

Ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα που αφορά το ιξώδες, είναι ότι στην περίπτωση των χρωμάτων αναφερόμαστε σε σχετικό ιξώδες, μιας και τα χρώματα παρουσιάζονται ως ψευδοπλαστικά. Αποτέλεσμα είναι να μην υπάρχει μία ορισμένη τιμή ιξώδους που να προσδιορίζει ένα χρώμα, αλλά διαφορετική τιμή ανάλογα με την επιβαλλόμενη διάτμηση και τη γεωμετρία του οργάνου. Παρ' όλα αυτά, στα πλαίσια του ποιοτικού ελέγχου, οι πραγματικές τιμές δεν αποτελούν μείζον ζήτημα, καθώς το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην επαναληψιμότητα και στην τήρηση των προδιαγραφών. Έτσι, οι σχετικές μετρήσεις είναι δεκτές εφόσον τα αποτελέσματα κυμαίνονται πάντα σε συγκεκριμένα πλαίσια.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση και με το ιξωδόμετρο τύπου Brookfield που χρησιμοποιήθηκε, έγινε αντιληπτό ότι κάθε άξονας του οργάνου είναι κατάλληλος για συγκεκριμένους ρυθμούς διάτμησης, ανάλογα με το προς μέτρηση υλικό. Σε γενικές γραμμές, οι άξονες L1 και L4, δεν παρουσίαζαν μεγάλη ακρίβεια, μιας και μετρούσαν στα όρια των ταχυτήτων περιστροφής, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεγάλο ποσοστιαίο σφάλμα. Αντιθέτως, οι άξονες L2 και L3 σε συνδυασμό με τα όρια των ταχυτήτων περιστροφής τους, έδειξαν να είναι οι καταλληλότεροι, τόσο για τα χρώματα όσο και για τις ρητίνες.

Να σημειωθεί ότι τα περιστροφικά ιξωδόμετρα προορίζονται κυρίως για χρήση σε ένα εύρος ρυθμών διάτμησης και όχι μόνο για μία συγκεκριμένη ταχύτητα, αφού κατ' αυτό τον τρόπο μπορεί να μελετηθεί η θιξοτροπία, η διατμητική λέπτυνση ή πάχυνση κ.ο.κ. Για ποιοτικό έλεγχο των χρωμάτων και λήψη συγκεκριμένης τιμής ιξώδους, προτιμάται το κύπελλο ροής, αν και τα συνήθη χρώματα ξεφεύγουν από τα όρια της καμπύλης βαθμονόμησής του. Το γεγονός όμως αυτό δεν επηρεάζει τις μετρήσεις, αφού όπως ειπώθηκε και προηγουμένως, κατά τον ποιοτικό έλεγχο, ζητούμενο είναι η επαναληψιμότητα.

Ιδιαίτερα ως προς τις πρώτες ύλες και δη τις ρητίνες, αξίζει να αναφερθεί ότι είναι απαραίτητος πάντοτε ο έλεγχος του ιξώδους τους πριν τη χρήση τους. Κάθε πρώτη ύλη συνοδεύεται από το τεχνικό φύλλο προδιαγραφών, το οποίο έχει συμπληρωθεί κατά τη διάρκεια της παραγωγής του υλικού. Λόγω όμως της αποθήκευσης, μεταφοράς και του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί από την παραγωγή έως την κατανάλωση της ρητίνης στο χρώμα, οι ρεολογικές ιδιότητες διαφοροποιούνται και οι τιμές των φυσικών μεγεθών δε συμβαδίζουν πολλές φορές με τις προδιαγραφόμενες. Το γεγονός αυτό μπορεί να επιφέρει προβλήματα κατά την παραγωγή του τελικού προϊόντος, το οποίο είναι δυνατόν να καταστεί εκτός προδιαγραφών.

Σημαντικός παράγοντας σε όλες τις μετρήσεις φάνηκε να είναι η θερμοκρασία. Ιδιαίτερα οι ρητίνες επέδειξαν μεγάλη ευαισθησία ως προς τη θερμοκρασία ως νευτωνικά ρευστά. Αντίστοιχες μεταβολές εμφάνισαν και τα χρώματα. Άλλοι παράγοντες, όπως η χρήση διαλυτών, ο χρόνος αποθήκευσης ή η αντικατάσταση μιας ρητίνης με κάποια υποκατάστατη, έδειξαν να επιδρούν στο ιξώδες του τελικού χρώματος.

Έμφαση δόθηκε και στο φαινόμενο της θιξοτροπίας, το οποίο παίζει σπουδαίο ρόλο κατά την εφαρμογή του χρώματος ιδιαίτερα στις βαφές με εμβάπτιση (dip coating). Από τα χρώματα που ελέγχθηκαν, φάνηκε ότι τα χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ εμφανίζουν θιξοτροπική συμπεριφορά, σε αντίθεση με τα αλκυδικά. Τέτοιου είδους χρώματα όμως, θέλουν ειδική επεξεργασία και ειδικότερα ως προς τη διασπορά της ρητίνης τους, διότι στη συνέχεια μπορεί να εμφανιστούν ανομοιογένειες κατά την εφαρμογή, όπως στο παράδειγμα που μελετήθηκε.

Οι υπόλοιποι έλεγχοι ποιότητας που πραγματοποιήθηκαν, επικεντρώθηκαν στην παραγωγή. Η πλειοψηφία των μεθόδων είναι εμπειρικές, όπως για παράδειγμα οι έλεγχοι απόχρωσης, καλυπτικότητας και χρόνου στεγνώματος. Η αξιοπιστία των μετρήσεων βασίζεται αποκλειστικά στην πείρα του κατασκευαστή / ελεγκτή.

Τα χρώματα που εξετάστηκαν ήταν βιομηχανικά και ναυτιλιακά. Η εξέλιξη των βιομηχανικών και ναυτιλιακών χρωμάτων πρέπει να προσανατολιστεί στην αποτελεσματικότητά τους. Ο πιστοποιημένος έλεγχος ποιότητας, είναι πάντοτε απαραίτητος, ώστε ο κάθε ενδιαφερόμενος να μπορεί να επιλέξει μια λύση σύμφωνα με τις προσδοκίες των επιδόσεών της. Βασικά χαρακτηριστικά που καθιστούν το χρώμα ποιοτικό είναι η εμφάνισή, η καλυπτικότητα, η πρόσφυσή και η διάρκεια ζωής του, τα οποία επιδέχονται βελτιώσεις.

Απαραίτητη είναι η ανάπτυξη μεθόδου προτυποποίησης των Α' υλών, οι οποίες ως χημικά προϊόντα εμφανίζουν συχνά διαφοροποιήσεις στη σύστασή τους και στις ιδιότητές τους. Η έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στον καθορισμό των ιδιοτήτων των Α' υλών, ώστε το προκύπτον χρώμα να έχει όσο το δυνατόν σταθερότερες ιδιότητες.

Το χρώμα μπορεί να μελετηθεί εις βάθος, καθώς είναι ένα σύνθετο σύστημα που περιλαμβάνει, πολυμερή, οργανικά, κεραμικά, ακόμα και βιολογικά υλικά, τα οποία δρουν ως σύνολο προσφέροντας τις απαιτούμενες ιδιότητες στην επικάλυψη. Απαραίτητο είναι να γίνει έρευνα πάνω σε νέα υλικά, τα οποία να λειτουργήσουν ως πρόσθετα ή ακόμα να αντικαταστήσουν τα ήδη υπάρχοντα. Σε κάθε περίπτωση βέβαια, τα παραγόμενα προϊόντα πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές ποιότητας και να εναρμονίζονται με την υπάρχουσα νομοθεσία, ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορούν να επιφέρουν.

Δ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. **Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας.** *Εκτίμηση και Πρόληψη του Επαγγελματικού κινδύνου στη Βιομηχανία Παραγωγής Χρωμάτων.* Αθήνα : ΛΙΒΑΝΗΣ ΑΒΕ, 2007.
2. **Σμιτζής, Ι.Χρ.** *Εργαστηριακές Ασκήσεις στα Πολυμερή και Σύνθετα Υλικά.* Αθήνα : ΕΜΠ, 2012. σσ. 63-68.
3. **International Labour.** *Encyclopedia of occupational health and safety.* 4η Έκδοση. Geneva : ILO, 1998.
4. *Ποιοτικός έλεγχος χρωμάτων.* **Ροκοτάς, Σ.** Αθήνα : Ένωση Ελλήνων χημικών, 2001. Ομιλίες περί χρωμάτων. σσ. 119-128,657-576.
5. *Εποξειδικές ρητίνες.* **Θεμελίδη, Σ.** s.l. : Ένωση Ελλήνων Χημικών, 2001. Ομιλίες περί χρωμάτων.
6. *Πρόσθετα ή βοηθητικά χρωμάτων και παραγωγή και εφαρμογή πολυουρεθανικών διασπορών εις τα βερνίκια και τα χρώματα επίστρωσης του μέλλοντος.* **Μπελεγράτης, Κ.** s.l. : Ένωση Ελλήνων Χημικών, 2001. Ομιλίες περί χρωμάτων.
7. *Γενική θεώρηση πλαστικών χρωμάτων και ανόργανα χρώματα.* **Αποστολάκης, Κ.** s.l. : Ένωση Ελλήνων Χημικών, 2001. Ομιλίες περί χρωμάτων .
8. *Διαλύτες.* **Λυκίδης, Τ. Α.** s.l. : Ένωση Ελλήνων Χημικών, 2001. Ομιλίες περί χρωμάτων.
9. **Weismantel, Guy E.** *Paint Handbook.*
10. **Βασιλείου, Π. - Σκουλικίδης, Θ.** *Διάβρωση και Προστασία Μετάλλων.* s.l. : Συμεών.
11. **Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.** Portal ΤΕΕ. [Ηλεκτρονικό] ΤΕΕ. [Παραπομπή: 19 Απρίλιος 2013.] http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES/xr_1_4t.htm.
12. TBT. [Ηλεκτρονικό] 2012. http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_TBT.htm.
13. **Britannica.** Alkyd Resin. *Encyclopedia Britannica.* [Ηλεκτρονικό] Britannica. [Παραπομπή: 12 Ιούνιος 2013.] <http://www.britannica.com/>.
14. **Dr. Soergel, Fritz.** Measuring coatings. *Coating properties.* [Ηλεκτρονικό] 2006. <http://www.coatingsgroup.com>.
15. **British Standard.** *Paints and Varnishes - Determination of flow time by use of flow cups.* 2010.
16. **BYK.** BYK. [Ηλεκτρονικό] 2012. [Παραπομπή: 24 Μάιος 2012.] <http://www.byk.com>.

17. **Μοροπούλου, Α.** Μικροσκοπία οπτικών ινών. [συγγρ. βιβλίου] Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών. *Εργαστηριακός Οδηγός 7ου Εξαμήνου Χ-Μ ΕΜΠ (Υλικά εκτός κατεύθυνσης)*. Αθήνα : ΕΜΠ, 2011, 12α, σσ. 69-108.
18. **Myers, R. - Long, J.S.** *Characterization of Coatings: Physical Techniques*. New York : Marcel Dekker, 1969. Τόμ. Ι.
19. **Χατζικυριάκος, Σ.** Ιδιότητες πολυμερών. *Εισαγωγή στην επιστήμη και τεχνολογία των πολυμερών*. 2006.
20. **Φρούκελος.** Κολλοειδή συστήματα. 2009.
21. **Τσαγγάρης, Σ.** *Μηχανική των Ρευστών*. Αθήνα : Συμεών, 2005. 960-7888-55-3.
22. **Πετεκίδης, Γ.** Μετρήσεις Ιξώδους Κολλοειδών Διασπορών. [συγγρ. βιβλίου] Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών. *Εισαγωγή στη Ρεολογία*. Κρήτη : Πανεπιστήμιο Κρήτης.
23. **Παπαϊωάννου, Α.Θ.** *Μηχανική των ρευστών*. Β'. σσ. 22, 237, 253-4. Τόμ. Ι.
24. **Thermo Electron.** HAAKE VISCOESTER C Instruction Manual. 1.3 [επιμ.] Henry Eisenlohr. Karlsruhe, Germany : s.n., 3 11 2010. σσ. 10-28.
25. **Brookfield.** Brookfield Engineering Laboratories. *More Solutions to Sticky Problems*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.brookfieldengineering.com/>.
26. **American Society for Testing and Materials.** Standard Method of Test for Rheological Properties of Non - Newtonian Materials. [συγγρ. βιβλίου] American Society for Testing and Materials. *Paint, Tests for Formulated Products and Applied Coatings*. Easton : s.n., 1974, σσ. 353 - 354.
27. **EN ISO.** *Flow cups*. England : BSI, 2002. 2631:1996.
28. **Wilckens Marine & Protective Coatings.** Work case study-Ship painting. *Wilckens Baltic*. [Ηλεκτρονικό] OS Web Design, 2008. [Παραπομπή: 19 Ιουνίου 2013.] <http://www.wilckens.ee/services/workexamples.htm>.
29. **ASTM.** Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational (Brookfield type) Viscometer. *Annual Book of ASTM Standards*. 1999, Τόμ. 14.03, σσ. 1-4.
30. **RAL.** Ralcolor. *RAL*. [Ηλεκτρονικό] RAL. [Παραπομπή: 16 Μάιος 2013.] <http://ralcolor.net/ral-5021-water-blue.php>.
31. **Wikipedia.** Copper (I) Oxide. *Wikipedia, the free Encyclopedia*. [Ηλεκτρονικό] Wikimedia Foundation, Inc., 14 Μάιος 2013. [Παραπομπή: 21 Ιούλιος 2013.] [http://en.wikipedia.org/wiki/Copper\(I\)_oxide](http://en.wikipedia.org/wiki/Copper(I)_oxide).
32. **ASTM.** *Drying Time Method 4061.3*. s.l. : ASTM, 2001.
33. **DeFelsko.** Coating Thickness Measurement. *DeFelsko*. [Ηλεκτρονικό] DeFelsko Cor., 2013. [Παραπομπή: 23 Ιούνιος 2013.] <http://www.defelsko.com/technotes/coating-thickness/coating-thickness-measurement.htm>.

34. Οπτική μικροσκοπία (Optical Microscopy OM). [συγγρ. βιβλίου] Γ.Δ. - Χαριτίδης, Κ.Α. Χρυσουλάκης. *Φροντιστηριακές & Εργαστηριακές Ασκήσεις Μεταλλικών Υλικών*. Αθήνα : ΕΜΠ, 2010.
35. **Τμήμα Γεωλογίας**. Εργαστηριακές Ασκήσεις Μεταλλογραφικού Μικροσκοπίου Γενικής Κοιτασματολογίας. *School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Greece*. [Ηλεκτρονικό] 12 Μάρτιος 2013. [Παραπομπή: 25 Ιούνιος 2013.] <http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo534y/ergastiria/>.
36. **AMC Advanced Marine Coatings**.
37. *Διασπορά πιγμέντων κατά την παραγωγή χρωμάτων*. **Βουτσινάς, Ι.** s.l.: Ένωση Ελλήνων Χημικών, 2001. Ομιλίες περί χρωμάτων.
38. **Ευρωπαϊκή Επιτροπή**. *Η οδηγία 96/61/ΕΚ για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (IPPC) και οι ελληνικές προτάσεις για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές*. Αθήνα : Γενική διεύθυνση περιβάλλοντος, 2001. Επιχειρησιακό πρόγραμμα.
39. **BYK Additives & Instruments**. Physical Properties. [συγγρ. βιβλίου] BYK Additives & Instruments. *QC Solutions for coatings and plastics*. s.l. : BYK Gardner, 2010-2011, σσ. 241-263.
40. **ASTM International**. Standard Test Method for Cincistency of Paints Measuring Krebs Unit (KU) Viscosity Using a Strmer - Type Viscometer. [συγγρ. βιβλίου] ASTM. *ASTM*. United States : ASTM, 2005.
41. **Pierce, P.E. - Donegan V.A.** *The rheology and application characteristics of thixotropic coatings*. J. Coat. Technolog. 1966. σσ. 1-8.
42. **Doherty, R- Hurt, D.J.** *The preparation, properties and rheological investigation of thixotropic paint systems*. J. Oil . s.l. : Col. CHem. Assoc., 1958. σσ. 42-84.
43. **Dodge, J.S.** *Quantitative measures of leveling*. J. Paint Technologies. 1972. σσ. 72-78.
44. **Matsuda, T - William, H. - Brendley, J.** *Tranfer and leveling processes ang rheological design in water - borne reverse - roll coating systems*. J. Coat Technologies. 1979. σσ. 46-60.

Ε. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. Haake Viscotester C

Πίνακας 19: Επιλογή άξονα ιξωδομέτρου κατά το πρότυπο L

Αριθμός άξονα	L1	L2	L3	L4
Αριθμός στροφών (rpm)	Ιξώδες (mPa s)			
0,1	60K	300K	1200K	6000K
0,2	30K	150K	600K	3000K
0,3	20K	100K	400K	2000K
0,5	12K	60K	240K	1200K
0,6	10K	50K	200K	1000K
1	6K	30K	120K	600K
1,5	4K	20K	80K	400K
2	3K	15K	60K	300K
2,5	2,4K	12K	48K	240K
3	2K	10K	40K	200K
4	1,5K	7,5K	30K	150K
5	1,2K	6K	24K	120K
6	1K	5K	20K	100K
10	600	3K	12K	60K
12	500	2,5K	10K	50K
20	300	1,5K	6K	30K
30	200	1K	4K	20K
50	120	600	2,4K	12K
60	100	500	2K	10K
100	60	300	1,2K	6K
200	30	150	0,6K	3K
Increment	1 mPa s	1 mPa s	10 mPa s	10 mPa s

Πηγή: HAAKE VISCOTESTER C Instruction Manual

¹ Το K εκφράζει χιλιάδες, π.χ. 7.8K = 7800, ενώ το M εκατομμύρια, π.χ. 1.56M = 1560000

² Δεν προτείνεται η λειτουργία για ιξώδη με τιμές μικρότερες από το 15% του χαμηλότερου μέρους της επιλεγμένης κλίμακας.

2. Κατάλογος δειγμάτων

Πίνακας 20: Χρησιμοποιούμενες ρητίνες και χρώματα

Ρητίνες	Χρώματα
Alkyd 65-60 SW-HV	Wilkor 5021
Megalkyd 32-60 SXX/ Batch No 29315	Wilkor QD 5021
Megalkyd 32-60/ Batch No 29477	PRF 3412/ CH 105064
Kayalar RB147/ Lot No 11111643	ERC D 7001/ CH 108851
SDA – EAGLE (SX35-46/60)/ Batch No NR 1205/3-010	CRGD 35000 Wilkor AC RED-BROWN
Izelkyd	CRGD 9206/ CH 106102

3. Τεχνικές προδιαγραφές αλκυδικών ρητινών

Πίνακας 21: Πιστοποιητικό ανάλυσης από KAYALAR KIMYA SAN. VE TIC. SA

RB 147 KK34 X 60 (Μικρού μήκους λαδιού)	Αποτέλεσμα	Προδιαγραφή
Περιεκτικότητα σε στερεά (%)	60.7	60 ± 1
Αριθμός οξέος (mg KOH/gr)	9.2	Max 12
Ιξώδες, 25°C (mPa s)	4400	4000-8000
Χρώμα (Gardner)	4.9	Max 6

Πίνακας 22: Πιστοποιητικό ανάλυσης από Veltro S.A.

SDA – EAGLE SX35-46/60) 60% (Μικρού μήκους λαδιού)	Αποτέλεσμα	Προδιαγραφή
Περιεκτικότητα σε στερεά (%)	61%	60% ± 1
Πυκνότητα, 25°C	1,01kg/l	1,01±0,01kg/l
Αριθμός οξέος (mg KOH/gr)	7,7	12 MAX
Ιξώδες 25°C (Gardner)	Z4 LT3/4B	Z3-Z4
Χρώμα (Gardner)	3,4 - 3,7	6 Max.

Πηγή: Eagle Chemicals

Πίνακας 23: Πιστοποιητικό ανάλυσης από MEGARA RESINS

Μέθοδος ανάλυσης	Αποτέλεσμα	Προδιαγραφή
MEGALKYD 32-60 SXX/Batch No 29477/10.04.12		
Στερεά (ASTM D 17)	59.9%	59 – 61%
Αριθμός οξέος (Στα στερεά) (ASTM D 1639)	15	16 max
Χρώμα (Gardner, ASTM D 1544)	4-	7 max
Ιξώδες (Gardner – Holdt, ASTM D 1545)	Z4+	Z3 – Z5
Ανηγμένο ιξώδες (Din Cup #4, T=23°C, 50% ξυλόλη)	235	200-300s
MEGALKYD 32-60 SXX/Batch No 29315/14.03.12		
Στερεά (ASTM D 17)	60.3%	59 – 61%
Αριθμός οξέος (Στα στερεά) (ASTM D 1639)	15	16 max
Χρώμα (Gardner, ASTM D 1544)	4	7 max
Ιξώδες (Gardner – Holdt, ASTM D 1545)	Z4+	Z3 – Z5
Ανηγμένο ιξώδες (Din Cup #4, T=23°C, 50% ξυλόλη)	268	200-300s
MEGALKYD 65-60 SW HV/Batch No 29465/09.04.12		
Στερεά (ASTM D 17)	59.8%	59 – 61%
Αριθμός οξέος (Στα στερεά) (ASTM D 1639)	8	16 max
Χρώμα (Gardner, ASTM D 1544)	3+	7 max
Ιξώδες (Gardner – Holdt, ASTM D 1545)	Z4+	Z3 – Z5
Ανηγμένο ιξώδες (Din Cup #4, T=23°C, 50% ξυλόλη)	245	200-300s
MEGALKYD 65-60 SW HV/Batch No 30011/05.07.12		
Στερεά (ASTM D 17)	60.4%	59 – 61%
Αριθμός οξέος (Στα στερεά) (ASTM D 1639)	8	16 max
Χρώμα (Gardner, ASTM D 1544)	3-	7 max
Ιξώδες (Gardner – Holdt, ASTM D 1545)	Z4+	Z3 – Z5
Ανηγμένο ιξώδες (Din Cup #4, T=23°C, 50% ξυλόλη)	243	235-250s

Πηγή: Megara Resins Anastasios Fanis S.A

4. Μετατροπές κινηματικού ιξώδους

Πίνακας 24: Μετατροπές κινηματικού ιξώδους

Centi- poise	Zahn #1	Zahn #2	Zahn #3	Zahn #4	Zahn #5	Ford #3	Ford #4	Zahn EZ1	Zahn EZ2	Zahn EZ3	Zahn EZ4	Shell #1	Shell #2	Shell #3	Shell #4	ISO 3	ISO 4	ISO 8	DIN 3	DIN 4
1.00												17								
2.00												21.5								
3.00												26								
5.00												35								
7.50	30.5											48	18.3							
10.0	32							40				57	22			18				
15.0	35							43					30.4	13		22				
20.0	38	18						47	20				39	15		27	11			
25.0	42	19						57	21				47	18.6		32	12			
30.0	45	20						55	22				56	22		37	13			
35.0								59	24							42	15			
40.0	52	22.5							25					28.6		47	17			15
50.0	60	25							28					35		58	19			17
60.0	58	28							30	10				42	18		23			18
70.0		30				32	20		33	12	10			48	21		27			20
80.0		34				37	22		36	12.5	10.5			55	24		31			22
90.0		38				40	25		39	13	11				27		34			24
100		43	17			43	28		42	14	12				30		37			26
125		53	19.5			53	35		50	16	13				37		47	9		30
150		63	22			63	40		58	18	15				45		56	12		36
175		72	24.5	17		73	48			20	16				52			14		41
200			27	18		83	56			22	18				60			16		46
225			30	19.5		93	62			24	20							17		51
250			32	21		103	70			26	21							19		57
275			35.5	22.5		113	76			29	23							21		62
300			38	24	17	120	82			31	24							23		
325			41	26	20		98			34	26							24		
350			43	28	20		98			36	28							26		
375			45	30	21		103			38	30							28		
400			48.5	32	22.5		110			41	31							29		
500			58	38	27		138			51	39							37		
600			70	45	31					60	46							44		
700				51	35						54							51		
800				59	40													58		
900				65	45															
1000				70	49															
1250					60															
1500					73															

Πηγή: Brookfield Engineering Laboratories (<http://www.brookfieldengineering.com>)

5. Πειραματικές μετρήσεις

Πίνακας 25: Μετρήσεις ιξώδους ρητίνης ALKYD 65-60 SW HV (μεγάλου μήκους λαδιού) σε τρεις θερμοκρασίες με όλους τους άξονες

Στροφές (rpm)	Ιξώδες (mPa s) 20°C	Ιξώδες (mPa s) 23°C	Ιξώδες (mPa s) 25°C
0,1	24572 (L1)	18674 (L1)	
0,2	24011 (L1)	16574 (L1)	13148 (L1)
0,3		16356 (L1)	13153 (L1)
0,5	28299 (L2)	19394 (L2)	15777 (L2)
0,6	28633 (L2)	19160 (L2)	15265 (L2)
1	28959 (L2)	18880 (L2)	15159 (L2)
1,5	23356 (L3)	18858 (L2)	15262 (L2)
2	23151 (L3)	19488 (L3)	14270 (L3)
2,5	23156 (L3)	19455 (L3)	14354 (L3)
3	23019 (L3)	19265 (L3)	14371 (L3)
4	22897 (L3)	18881 (L3)	14282 (L3)
5	22726 (L3)	19096 (L3)	14278 (L3)
6	24241 (L4)	18905 (L3)	14243 (L3)
10	24486 (L4)	21558 (L4)	19803 (L4)
12	24351 (L4)	21432 (L4)	19751 (L4)
20	24245 (L4)	21314 (L4)	19592 (L4)
30	24241 (L4)		19414 (L4)
Μέσος όρος & Τυπική Απόκλιση	25059,08 ± 2121,84	19219,43 ± 1481,81	15660,65 ± 2400,85

Πίνακας 26: Τιμές ξώδους ρητίνης ALKYD 65-60 SW HV (μεγάλου μήκους λαδιού) σε τέσσερις θερμοκρασίες, με όλους τους άξονες του περιστροφικού ιξωδομέτρου

Στροφές (rpm)	Ιξώδες (mPa s) 15°C	Ιξώδες (mPa s) 20°C	Ιξώδες (mPa s) 25°C	Ιξώδες (mPa s) 30 °C
0,1	42256 (L1)			
0,2	42514 (L2)	19088 (L1)	10937 (L1)	7536,3 (L1)
0,3	40887 (L2)	18893 (L1)	10587 (L1)	6878,4 (L1)
0,5	39543 (L2)	19330 (L2)	10406 (L1)	6937,2 (L1)
0,6	38056 (L2)	19318 (L2)	11697 (L2)	6831 (L1)
1	38447 (L3)	19225 (L2)	11651 (L2)	7318,6 (L2)
1,5	37555 (L3)	19040 (L2)	11600 (L2)	7203,9 (L2)
2	36760 (L3)	19026 (L3)	11653 (L2)	7189,7 (L2)
2,5	36745 (L3)	18993 (L3)	11623 (L2)	7307,1 (L2)
3	36357 (L3)	18937 (L3)	11999 (L3)	7355,8 (L2)
4	44090 (L4)	18818 (L3)	11754 (L3)	7364,4 (L2)
5	48240 (L4)	18656 (L3)	11930 (L3)	7690 (L3)
6	49819 (L4)	18381 (L3)	11810 (L3)	7642,5 (L3)
10	48453 (L4)	19183 (L4)	11831 (L3)	7490,3 (L3)
12	47843 (L4)	19069 (L4)	13261 (L4)	7446 (L3)
20		18983 (L4)	13286 (L4)	8487,1 (L4)
30		18741 (L4)	13229 (L4)	8372,6 (L4)
50				8259,1 (L4)
60				8245,3 (L4)

Πίνακας 27: Τιμές ιξώδους ρητίνης MEGALKYD 32-60 SXX (μικρού μήκους λαδιού) παρτίδας 29315, σε τρεις θερμοκρασίες, με όλους τους άξονες του περιστροφικού ιξωδομέτρου

Στροφές (rpm)	Ιξώδες (mPa s) 20°C	Ιξώδες (mPa s) 23°C	Ιξώδες (mPa s) 25°C
0,1			
0,2	13264 (L1)	14013 (L1)	
0,3	16023 (L1)	13294 (L1)	
0,5	17891 (L2)	12685 (L2)	12813 (L2)
0,6	17720 (L2)	13887 (L2)	12088 (L2)
1	17348 (L2)		11404 (L2)
1,5	17834 (L2)		10302 (L2)
2	16756 (L3)	13109 (L3)	10432 (L2)
2,5	16709 (L3)	13088 (L3)	10472 (L2)
3	16664 (L3)	13227 (L3)	9389,3 (L2)
4	16695 (L3)	13315 (L3)	9646,2 (L3)
5	16649 (L3)	13173 (L3)	9558,6 (L3)
6	16643 (L3)	12749 (L3)	9633,5 (L3)
10	20638 (L4)	16808 (L4)	9635,4 (L3)
12	20631 (L4)	16464 (L4)	9383,1 (L3)
20	20530 (L4)	16430 (L4)	15558 (L4)
30		15933 (L4)	15124 (L4)
50			
60			

Πίνακας 28: Τιμές ιξώδους ρητίνης MEGALKYD 32-60 SXX (μικρού μήκους λαδιού) παρτίδας 29477, σε τέσσερις θερμοκρασίες, με όλους τους άξονες του περιστροφικού ιξωδομέτρου

Στροφές (rpm)	Ιξώδες (mPa s) 20°C	Ιξώδες (mPa s) 23°C	Ιξώδες (mPa s) 25°C	Ιξώδες (mPa s) 30 °C
0,1	14365 (L1)	12877 (L1)		15767 (L1)
0,2	13767 (L1)	12712 (L1)	11090 (L1)	15041 (L1)
0,3	13162 (L1)	12509 (L1)	10122 (L1)	10937 (L1)
0,5	18014 (L2)	12552 (L2)	9870,5 (L1)	16969 (L2)
0,6	17472 (L2)	12303 (L2)	10404 (L2)	16852 (L2)
1	17052 (L2)	12211 (L2)	10029 (L2)	16769 (L2)
1,5	16687 (L2)	11958 (L2)	9740,9 (L2)	17042 (L2)
2	16325 (L3)	11738 (L2)	9574,9 (L2)	18127 (L3)
2,5	16403 (L3)	11568 (L2)	9463,1 (L2)	17735 (L3)
3	16362 (L3)	11892 (L3)	9340,1 (L2)	17564 (L3)
4	16193 (L3)	11885 (L3)	9575,9 (L3)	17403 (L3)
5	15994 (L3)	11763 (L3)	9538,7 (L3)	17225 (L3)
6	16205 (L3)	11619 (L3)	9360,4 (L3)	17005 (L3)
10	23469 (L4)	11601 (L3)	9315,1 (L3)	20514 (L4)
12	23330 (L4)	18384 (L4)	8969,9 (L3)	20302 (L4)
20	22727 (L4)	18238 (L4)	10741 (L4)	20035 (L4)
30		18106 (L4)	10684 (L4)	19754 (L4)
50			10468 (L4)	
60				

Πίνακας 29: Τιμές ιξώδους ρητίνης IZELKYD RAP 38x60 (μικρού μήκους λαδιού) στη θερμοκρασία των 20 °C

Στροφές (rpm)	Ιξώδες (mPa s) 20°C				
Άξονας L1					
0,5	2803,4	2925,4	3023,1	3057	3072,3
0,6	2853,9	3004,5	3060,3	3091,1	3108,3
1	2810,1	2983,9	3059,6	3092,9	3109,8
1,5	2828,8	2997,2	3067,7	3105,1	3124,5
Άξονας L2					
2	2844,1	2836,3	2827,6	2828,3	2826
2,5	2838,2	2850,8	2847,2	2845	2841,4
3	2811,8	2876,7	2877	2876,2	2874,2
4	1998,1	2837,3	2880,3	2881,8	2881,5
5	2429,4	2843,9	2889,1	2894,1	2894,4
6	2673,7	2860,2	2888,2	2890,7	2891,8
10	2612,6	2809,5	2862,6	2880,5	2887,3
Άξονας L3					
10	2665,4	2666,4	2665,4	2666,5	2665,4
12	2706,1	2712,6	2712,5	2714,2	2714,9
20	2641	2764,3	2772,8	2773,9	2773,6
30	2634,9	2763	2784	2787,3	2788
Άξονας L4					
50	2928,3	3034,4	3036,8	3039,9	3043,8
60	2967,1	3018,8	3018,1	3017,5	3019,2
100	2904	2907	2909	2909,4	2909,5
200	2910	2906	2904	2903	2902

Πίνακας 30: Τιμές εξόδους ρητίνης ALKYD 65-60 (μεγάλου μήκους λαδιού) ως προς τις αραιώσεις της με White Spirit για κάθε άξονα του περιστροφικού εξωδομέτρου

Περιεκτικότητα σε White Spirit (w/w)	L1	L2	L3	L4
39,60%	18723,67	18257,20	17586,86	19535,17
40,83%	11764,25	12061,80	12564,17	13852,50
42,09%	9724,74	9092,68	8966,63	9630,00
43,30%	7824,60	6853,48	6612,65	7322,73
44,62%	5655,74	5262,50	5288,22	1139,08

Πίνακας 31: Τιμές εξόδους ρητίνης SDA - EAGLE (Sx35-46.60) (μικρού μήκους λαδιού) ως προς τις αραιώσεις της με φυλόλη για κάθε άξονα του περιστροφικού εξωδομέτρου

Περιεκτικότητα σε White Spirit (w/w)	L1	L2	L3	L4
40,66%	5162,64	4004,39	4687,72	5625,98
41,80%	4242,05	4464,01	4495,98	4741,94
43,00%	3387,84	3554,26	3772,67	4114,95
44,00%	2399,34	2590,14	2279,58	2812,50
46,05%	2343,25	2341,30	2362,16	2593,60
48,24%	2050,52	2104,23	2105,54	2374,10
50,00%	691,11	727,35	742,85	823,30

Πίνακας 32: Τιμές ιξώδους αλκυδικού χρώματος απόχρωσης RAL 5021 σε τέσσερις θερμοκρασίες

Στροφές (rpm)	Ιξώδες (mPa s) 15°C	Ιξώδες (mPa s) 20°C	Ιξώδες (mPa s) 25°C	Ιξώδες (mPa s) 30 °C
0,6	2133,1			
1	1829,2	1460,8		1175,5
1,5	1624,8	1321,6	1127,2	1055,3
2	1492,9	1224,8	1085,1	951,2
2,5		1140,8	1028,5	889
3	1421,5	1084,9	971,9	842,1
4	1361,2	996,4	896,8	773,6
5		971,7	844,7	718,7
6		947,1	781,7	681,2
10	1230,7	890,8	729,9	628,9
12	1185,3	860,5	724	603,2
20	1140,4	784,5	657,2	541,9
30	1084,2	735,3	609	512,9
50	981	780	571,5	479,8

Πίνακας 33: Τιμές ιξώδους (mPa s) των χρωμάτων του συστήματος βαφής των υφάλων πλοίου

Στροφές (RPM)	Αστάρι χλωριωμένου καουτσούκ	Υπόστρωμα χλωριωμένου καουτσούκ	Υφαλόχρωμα
0,6	86061	9434,2	58327
1	52626	7523,9	37171
1,5	41714	5986,9	26190
2	32693	5046,7	20496
2,5	27148	4444,6	17059
3	23491	3975,8	14655
4	18849	3437,5	11644
5	16057	3050,9	9760,2
6	13807	2783,7	8388,9
10	9624,6	2239	6381,6
12	8471,8	2054,6	5338,4

Πίνακας 34: Ιξώδες ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος κατά την παραγωγή του και μετά από αποθήκευση 6 μηνών

Στροφές (RPM)	Αρχικό Ιξώδες (mPa s)	Ιξώδες μετά από 6μηνη αποθήκευση (mPa s)	% Αύξηση Ιξώδους
0,5	3364,8	3954,8	18
0,6	3124,5	3656,8	17
1	2299,9	2723,8	18
1,5	1841,0	2207	20
2	1582,5	1907,7	21
2,5	1410,5	1719,4	22
3	1292,7	1582,2	22
4	1133,2	1393,6	23
5	1028,0	1165,3	13
6	846,9	1121,8	32
10	750,6	988	32
12	726,1	939,1	29
20	629,6	821,9	31
30	567,5	744,5	31
50	567,6	722,7	27
60	542,7	698,7	29
100	466,3	625,9	34
200	414,3	567,5	37

Πίνακας 35: Ιξώδες ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος, δύο παρτίδων σε θερμοκρασία 20 °C

Στροφές (mPa s)	Ιξώδες 1 ^{ης} παρτίδας (mPa s)	Ιξώδες 2 ^{ης} παρτίδας (mPa s)
0,5	2781,8	3364,8
0,6	2491,3	3124,5
1	1835,8	2299,9
1,5	1453,8	1841,0
2	1244,6	1582,5
2,5	1105,7	1410,5
3	1017,6	1292,7
4	894,5	1133,2
5	816,3	1028,0
6	754	846,9
10	685,3	750,6
12	649,8	726,1
20	565,8	629,6
30	508	567,5
50	451	567,6
60	434,5	542,7
100	461	466,3
200	410	414,3

Πίνακας 36: Επίδραση θέση άξονα στο ιξώδες ρητινών μικρού (αριστερά) και μεγάλου (δεξιά) μήκους λαδιού

Στροφές (RPM)	Ακεντράριστος	Κεντραρισμένος	Στροφές (RPM)	Ακεντράριστος	Κεντραρισμένος
10	2176,3	2265,8	0,5	9628,9	
12	2179,4	2271,8	0,6	10106	9096
20	2188,6	2275,4	1	9954,5	9119,5
30	2195	2283,9	1,5	9968,5	9109
50	2199,5	2300	2	9941,5	9095
			2,5	9935,8	9083,4
			3		9053,2

Πίνακας 37: Τιμές ιξώδους σε δύο θερμοκρασίες με όλους τους άξονες του περιστροφικού ιξωδομέτρου για αστάρι χλωριωμένου καουτσούκ

Στροφές (mPa s)	Ιξώδες στους 23°C(mPa s)	Ιξώδες στους 28°C (mPa s)
0,1	39559	
0,2		
0,3	32370	25863
0,5	23348	20003
0,6	20801	18224
1	13339	12029
1,5	9619,3	8832,2
2	7856,6	7028,9
2,5	10493	5884,8
3	9036,9	5472,6
4	6475,6	4451,1
5	5569,6	3746,9
6	4905,6	3339
10	3739,6	2328,5
12	3068,8	1905,9
20	2386,4	1603,9
30	1801,2	1231,3
50	1262,2	946,3
60	1133,9	826,6
100	871,3	656,7
200	826,8	646,4

Πίνακας 38: Τιμές ιξώδους ρητίνης IZELKYD RAP 38x60 (μικρού μήκους λαδιού), στους 25 °C με τον άξονα L1

t (min)	Ταχύτητα περιστροφής (rpm)						
	1	1,5	2	2,5	3	4	5
0	1074,6	1095,8	1045,0	937,4	1012,2	853,5	1020,0
1	1114,5	1113,3	1087,7	1070,0	1087,3	1052,1	1085,3
2	1121,2	1115,6	1102,7	1101,9	1111,2	1098,0	1110,0
3	1118,6	1115,4	1110,0	1113,0	1121,3	1119,2	1121,4
4	1115,5	1116,9	1113,9	1119,2	1125,8	1125,6	1126,9
5	1111,4	1115,8	1119,8	1121,3	1127,7	1129,1	1129,8
6	1109,0	1116,3	1122,5	1122,7	1128,7	1130,9	1130,6
7	1105,7	1117,0	1121,8	1123,8	1129,6	1131,7	1131,3
8	1103,4	1115,4	1122,3	1124,7	1130,5	1131,9	1131,7
9	1099,3	1121,1	1122,5	1125,4	1130,8	1132,2	1132,0
10	1099,8	1117,3	1122,7	1125,9	1131,2	1132,3	1132,1

Πίνακας 39: Τιμές ιξώδους ρητίνης KAYALAR RB147 (μικρού μήκους λαδιού) σε δύο θερμοκρασίες

Στροφές (rpm)	Ιξώδες (mPa s) 20°C	Ιξώδες (mPa s) 25°C
0,3		11464 (L1)
0,5	14574 (L2)	10647 (L1)
0,6	14302 (L2)	9390 (L1)
1	14478 (L2)	10218 (L2)
1,5	14543 (L2)	10512 (L2)
2	14525 (L2)	10452 (L2)
2,5		10861 (L2)
3	15490 (L3)	9677 (L3)
4	15447 (L3)	9641 (L3)
5	15460 (L3)	9604 (L3)
6	15450 (L3)	9444 (L3)
10	17558 (L4)	9274 (L3)
12	17492 (L4)	9109 (L3)
20	16476 (L4)	13524 (L4)
30		13543 (L4)

Πίνακας 40: Τιμές εξόδου αλκυδικού χρώματος ως προς ταχύτητα περιστροφής για 30min

Στροφές (rpm)	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	11min	12min	13min	14min	15min
1	1226,7	1247,5	1260,3	1275	1289,9	1309,1	1322,7	1337,1	1351,7	1362,9	1373,7	1383,5	1392,4	1398,4	1404,9
1,5	1420,2	1382,7	1368,4	1349,6	1344,9	1337	1334,2	1330,3	1328,9	1327,9	1327,2	1325,5	1325,8	1323,8	1320,4
2	1288,5	1268,7	1255,7	1249,6	1240,5	1239,5	1237,2	1236,2	1232,3	1231,1	1229,7	1228,8	1228,2	1228,1	1227,4
2,5	1201,3	1186,9	1176,1	1164,5	1160,5	1158,4	1154,1	1153,6	1152,3	1150,2	1149,2	1148,7	1148,1	1147,4	1146,6
3	1132,4	1119,7	1109,8	1105,3	1102,1	1099,9	1098,5	1097,2	1095,3	1093,6	1092,7	1092,3	1090,7	1090,1	1089,7
4	1052	1034,8	1027,5	1022,4	1017,6	1014,2	1011,6	1010,6	1009,2	1008,2	1007,5	1006,8	1006	1005,1	1004,3
5	990,3	972,8	966	962,5	959,5	957,1	956,2	953,6	952,5	951,5	950,4	949,7	948,4	947,5	946,9
6	942	926,5	920,7	916,9	914,6	912,5	911,5	910,6	909,9	909,4	908,8	908,2	908	907,9	907,6

Στροφές (rpm)	16min	17min	18min	19min	20min	21min	22min	23min	24min	25min	26min	27min	28min	29min	30min
1	1409,7	1416,1	1419,7	1420,3	1422,1	1425,7	1428,6	1434,3	1438,8	1443,2	1445,1	1450,7	1454,9	1457,2	1460,8
1,5	1321	1320,5	1320,2	1320,1	1320,2	1320,9	1322,1	1321,6	1320,3	1321,5	1320,7	1320,6	1321,7	1321,8	1321,6
2	1227,4	1227,3	1227,1	1226,4	1226,4	1226,4	1226,1	1226,1	1223,7	1224,9	1224,5	1224,4	1224,3	1224,8	1224,8
2,5	1146	1145,9	1145	1144,8	1144,4	1143,1	1142,8	1142,6	1142,3	1141,8	1141,6	1141,4	1141,3	1141	1140,8
3	1088,7	1088,4	1088,2	1087,6	1087,1	1086,9	1086,6	1086,4	1086,3	1086	1085,9	1085,7	1085,3	1085,1	1084,9
4	1003,6	1002,7	1002	1001,5	1000,9	1000,5	999,8	999,2	998,6	998,2	998,1	997,6	997,6	996,2	996,4
5	946,2	945,6	945	944,6	944,2	943,9	943,7	943,2	942,7	942,2	941,8	941,6	941,5	941,3	941,1
6	905,6	905,5	905,5	905,4	905,3	905,2	905,2	905	904,9	904,8	904,8	904,7	904,7	904,5	904,5

Πίνακας 41: Τιμές εξόδους κατά τον έλεγχο της θιξοτροπίας ασταριού χλωριωμένου καουτσούκ με τον άξονα L3 του περιστροφικού εξωδομέτρου σε θερμοκρασία δωματίου

Στροφές άξονα (rpm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	19287,0	18688,0	18853,0	19042,0	19344,0	19585,0	19786,0	20026,0	20014,0	20418,0	20673,0
1,5	17967,0	16656,0	15998,0	15845,0	15947,0	15901,0	15976,0	15922,0	15969,0	16008,0	16027,0
2	15720,0	14763,0	13620,0	13436,0	13405,0	13310,0	13248,0	13228,0	13229,0	13231,0	13224,0
2,5	13758,0	12082,0	11646,0	11490,0	11418,0	11386,0	11335,0	11317,0	11287,0	11278,0	11234,0
3	12273,0	10535,0	10239,0	10131,0	10070,0	10035,0	9985,8	9980,7	9953,0	9922,5	9915,7
4	10699,0	8742,4	8433,3	8306,3	8261,8	8164,5	8112,3	8085,7	8064,0	8023,1	8007,4
5	8520,9	7401,6	7220,0	7064,6	6953,4	6850,1	6839,3	6848,5	6811,7	6829,8	6788,7
6	8713,3	6641,6	6303,3	6127,0	6052,1	5987,1	5949,2	5910,6	5883,8	5866,5	5855,3
10	5303,4	4469,4	4279,8	4192,8	4130,6	4090,5	4064,7	4053,2	4039,6	4022,2	4003,1
12	3723,1	3039,1	2958,0	2927,4	2906,5	2891,8	2884,6	2877,0	2872,8	2870,2	2865,7
20	2748,9	2245,4	2188,6	2162,1	2146,0	2136,4	2127,3	2119,3	2114,0	2109,5	2105,1
30	2066,1	1765,4	1733,3	1711,0	1703,3	1692,3	1684,4	1677,7	1672,9	1669,5	1664,3
50	1512,4	1350,1	1323,0	1312,6	1304,5	1294,8	1287,0	1281,4	1276,4	1271,7	1268,4
60	1434,7	1186,3	1172,8	1163,3	1158,3	1153,7	1150,0	1146,2	1143,0	1140,3	1137,6

Πίνακας 42: Έλεγχος θιξοτροπίας ρητίνης

Στροφές (RPM)	Ιξώδες (mPa s)
12	9151,9
20	8985,9
30	8865,1
50	8760,6
60	8808,1
50	8854,4
30	8939,3
20	9026,2
12	9130,8

Πίνακας 43: Έλεγχος θιξοτροπίας αλκυδικού χρώματος

Στροφές (RPM)	Ιξώδες (mPa s)
1	1656,9
1,5	1493,1
2	1377,8
2,5	1298,5
3	1235,2
4	1154,2
5	1091,7
4	1128,5
3	1201,2
2,5	1262,9
2	1349,4
1,5	1478,1
1	1703
Ηρεμία 10'	
1	1729,6

Πίνακας 44: Έλεγχος θιξοτροπίας ασταριού χλωριωμένου καουτσούκ

Στροφές (RPM)	Ιξώδες (mPa s)
10	2066,2
12	1903,9
20	1576,4
30	1365,5
50	1151
60	1054
100	868
60	1015
50	1085
30	1255
20	1442,9
12	1765
10	1964,9
Ηρεμία 10'	
10	2106,2

Πίνακας 45: Έλεγχος θιξοτροπίας ταχυστέγνωτου αλκυδικού χρώματος

Στροφές (RPM)	Ιξώδες (mPa s)
6	1091,3
10	983,3
12	942,1
20	840,9
30	773
20	831,2
12	930,2
10	983,1
6	1108,6
Ηρεμία 10'	
6	1137,2