



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΙΙΙ : ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ
ΦΩΤΟΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ
ΜΕ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ
‘ΕΡΩΤΙΚΟ’, ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΩΝ ‘ΤΣΙΜΕΝΤΑ’,
Ν. ΚΕΣΣΑΝΛΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΝΙΚΟΛΕΤΑΣ ΚΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΝΤΩΝΙΑ
ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ : ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΝΤΩΝΙΑ
ΜΠΑΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΜΠΑΚΟΛΑΣ ΑΣΤΕΡΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στην Εργαστηριακή Μονάδα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Η εκπόνησή της δε θα ήταν δυνατή χωρίς τη συνεργασία και στήριξη όλης της ερευνητικής ομάδας του εργαστηρίου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα :

- Την κα. Αντωνία Μοροπούλου, Καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και αντιπρύτανη του Ε.Μ.Π., για την ανάθεση του εξαιρετικά ενδιαφέροντος αυτού θέματος.
 - Τον κ. Αστέριο Μπακόλα, Λέκτορα της Σχολής Χημικών Μηχανικών, για τις πάντοτε καίριες συμβουλές και παρατηρήσεις του.
 - Την κα. Μαρία Καρόγλου, Δρ. Χημικό Μηχανικό, για την πολύτιμη βοήθειά της και καθοδήγησή της.
 - Την κα. Ευγενία Σταματοπούλου, συντηρήτρια του Ιδρύματος ΔΕΣΤΕ, για την συνεισφορά και συνεργασία της, σε οτιδήποτε χρειάστηκε.
 - Τον κ. Λεωνίδα Καραμπίνη, Καθηγητή του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης του Τ.Ε.Ι. Αθηνών, και μαθητή του Ν. Κεσσανλή στην Α.Σ.Κ.Τ., για την ένθερμη ανταπόκρισή του και την αβίαστη παραχώρηση της πτυχιακής του εργασίας, εργασία η οποία έδωσε πολύτιμες πληροφορίες ως προς τα χρησιμοποιούμενα υλικά.
 - Τον κ. Παντελή Αραπίνη, Ιδιοκτήτη της Gallery ΑΔ και φίλο του Ν. Κεσσανλή, τον κ. Αντώνη Ψαρρή, φίλο και συνεργάτη του Ν. Κεσσανλή, καθώς και την κα. Γιώτα Καραπλή – Χατζητουριάν, συνεργάτη του Ν. Κεσσανλή για την επίσης συγκινητικά ένθερμη ανταπόκρισή τους, καθώς και για τις πολύτιμες πληροφορίες που προσέφεραν, ο καθένας από το δικό του κομμάτι εμπειρίας.
- Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον αδερφό μου, Βασίλη, γιατί είναι πάντα δίπλα μου, χωρίς να καταλαβαίνει απόλυτα και χωρίς να το απαιτεί κιόλας, και να 'κατεβάσω το καπέλο' στους ανθρώπους που με παλεύουν καθημερινά, εδώ και πάρα πολλά χρόνια, τις super - ηρωίδες μου, στις Φίλες μου, Βούλα, Νατάσσα, Βάσω και Νικολέτα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά στη μελέτη των υλικών και τη διάγνωση φθοράς, με τη χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών, σε ένα από τα 'Ερωτικά', της σειράς έργων 'Τσιμέντα', σε φωτοευαισθητοποιημένο τσιμέντο, του Νίκου Κεσσανλή. Η ομώνυμη σειρά έργων αποτελεί μία εξαιρετικά ενδιαφέρουσα περίπτωση για την επιστήμη των υλικών, αφού συνίσταται στο συνδυασμό δύο βασικών κατηγοριών υλικών, αυτών, των κατεξοχήν δομικών κονιαμάτων, και των παραδοσιακά χρησιμοποιούμενων, στη φωτογραφία, υλικών.

Η μελέτη του έργου με τη χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών στοχεύει σε μία πρώτη διάγνωση φθοράς, η οποία, με τη σειρά της, θα κατευθύνει την μετέπειτα πορεία εξέτασης του έργου, προς περαιτέρω ανάλυση των υλικών του και των προϊόντων φθοράς τους.

Αρχικά, έγινε εκτενής βιβλιογραφική έρευνα, ως προς την τεχνική και τα υλικά που χρησιμοποιούσε ο καλλιτέχνης. Περαιτέρω αναζήτηση, και λόγω του ότι ο καλλιτέχνης δε βρίσκεται εν ζωή, οδήγησε σταδιακά στην αλυσίδα των συνεργατών του, χάρη στους οποίους κατέστη δυνατό, να εξακριβωθεί η τεχνική κατασκευής του έργου, αλλά και να διασταυρωθεί η ύπαρξη ενός επιπλέον υλικού, μεταξύ των κονιαμάτων και του στρώματος των φωτογραφικών υλικών, του βερνικιού πολυουρεθάνης.

Στη συνέχεια το έργο μελετήθηκε με τις μη καταστρεπτικές τεχνικές της ψηφιακής μακροφωτογραφίας, της μικροσκοπίας οπτικών ινών, της χρωματομετρίας και της θερμογραφίας υπερύθρου.

Αρχικά, τόσο η πρόσθια όσο και η οπίσθια όψη του έργου, φωτογραφήθηκαν με μικρο και μακρο φακούς. Αποτυπώθηκαν η διάβρωση του σιδηροπλισμού, οι ρηγματώσεις των κονιαμάτων, το τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης, που χρησιμοποιήθηκε εξαιτίας της αποκόλλησης τμήματος του επιχρίσματος, τα ξεφλουδίσματα, καθώς και οι χρωματικοί τόνοι του έργου. Το έργο εμφανίζει τέσσερεις αποχρώσεις, τη μαύρη, τη λευκή, τη γκρι και την καφέ. Η γκρι απόχρωση φαίνεται να έχει επεκταθεί, ενώ το λευκό μεταξύ του άνω και του κάτω επιχρίσματος δεν είναι το ίδιο έντονο.

Στη συνέχεια, η πρόσθια όψη του έργου σαρώθηκε με μικροσκόπιο οπτικών ινών. Το έργο δεν παρουσιάζει ενιαία μορφολογικά χαρακτηριστικά στην επιφάνειά του. Επίσης, παρουσιάζει έναν χαρακτηριστικό τύπο ρωγμών, τα κρακελαρίσματα, ενώ το φωτογραφικό στρώμα έχει αποκολληθεί σε πολλά σημεία του. Το τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης εμφανίζει διαφορετική τραχύτητα, ως προς το αρχικό επιχρίσμα και έχει παρασκευασθεί με τελείως διαφορετικές αναλογίες πρώτων υλών.

Το έργο κατατμήθηκε, ακολούθως, σε ορθογώνιες υποπεριοχές και ολόκληρη η επιφάνεια του σαρώθηκε με χρωματομέτρο. Οι χρωματικές παράμετροι για τη μαύρη απόχρωση εμφανίζουν πολύ μικρή απόκλιση, σε αντίθεση με την

απόχρωση του λευκού, η οποία εμφανίζει πολύ μεγάλες χρωματικές διαφορές. Η λευκή απόχρωση εμφανίζει πολύ μεγάλη απόκλιση στις τιμές φωτεινότητας, καθώς και αξιοσημείωτα μεγάλες τιμές κορεσμού. Η καφέ απόχρωση εμφανίζει μεγάλη απόκλιση στην τιμή φωτεινότητας, ενώ η γκρι απόχρωση αρκετά αυξημένες τιμές κορεσμού. Το τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης εμφανίζει τελείως διαφορετικό χρώμα από το χρώμα του αρχικού τσιμεντοκονιάματος. Τέλος, το έργο (πρόσθια και οπίσθια όψη) θερμογραφήθηκε, τόσο παθητικά, όσο και ενεργητικά. Ο παθητικός έλεγχος έδωσε ισχνά αποτελέσματα, πιθανά λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας και των συντελεστών εκπομπής των υλικών του έργου. Αντίθετα, ο ενεργητικός έλεγχος στην οπίσθια όψη του έργου κατέστησε διακριτή τη δομή του στηρικτικού πλαισίου του έργου και συγκεκριμένα τους σιδηροπλισμούς, το πλέγμα λαμαρίνας και το σύρμα μέσω του οποίου, προσδένεται το πλέγμα λαμαρίνας στους σιδηροπλισμούς. Στην πρόσθια όψη του έργου, ο ενεργητικός θερμογραφικός έλεγχος άφησε υπόνοια για την ύπαρξη δύο οπλισμών, οι οποίοι δε διακρίνονται με γυμνό μάτι.

ABSTRACT

This thesis concerns the use of non-destructive techniques for the diagnosis of deterioration and the maintenance condition of the project 'Erotico', the series of works 'Cements', applied on photosensitive cement, by the artist Nikos Kessanlis.

Initially, an extensive literature research on the technique and materials used by the artist was performed. The basic components of the project are reinforcement iron, common cement-based construction mortar, cement-based coating mortar, polyurethane varnish and photographic materials. Then, the materials and their basic causes of deterioration are examined.

Subsequently, within the experimental part, the project is examined using the non-destructive techniques of macro photography, fiber optic microscopy, colorimetry and infrared thermography.

Non-destructive testing provides invaluable information regarding to the types of damage concerning the project, the main of which is the corrosion of reinforcement iron, cracking of mortars and the parting of the photographic layer, while, based on the obtained results, the appropriate sections of the project for material sampling are indicated, so as the materials and their deterioration products to be characterized.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	2
1.1. Η ΚΑΙΝΟΥΡΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ Η ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	2
1.2. ΥΛΙΚΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΤΕΧΝΗΣ, ΦΘΟΡΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	3
1.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΤΕΧΝΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	5
2. ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΝΙΚΟΥ ΚΕΣΣΑΝΛΗ.....	7
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
2.2. ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1946-57.....	7
2.3. ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1957-64.....	8
2.4. ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1963-75 & 1989.....	9
2.4.1. Φαντασμαγορίες της ταυτότητας.....	9
2.4.2. Αναμορφώσεις.....	10
2.5. ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1975-88.....	11
2.6. ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1996 – Τσιμέντα.....	12
2.6.1. Η τεχνική.....	13
2.6.2. Τα υλικά.....	13

II. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	16
1.1. ΠΛΑΣΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	16
1.1.1. Η διάβρωση του σιδηροπλισμού στο σπλισμένο σκυρόδεμα.....	17

1.1.1.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση του σιδηροπλισμού στο σκυρόδεμα.....	19
1.1.2. Αλληλεπίδραση οπλισμού – γαλβανιζέ πλέγματος.....	22
1.2. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ.....	22
1.2.1. Τσιμεντοκονίαμα.....	23
1.2.1.1. Τσιμέντο.....	23
1.2.1.2. Χημική σύσταση τσιμέντου Πόρτλαντ.....	23
1.2.1.3. Ενυδάτωση τσιμέντου Πόρτλαντ.....	24
1.2.1.4. Πήξη τσιμέντου Πόρτλαντ.....	24
1.2.1.5. Ανάπτυξη αντοχών τσιμέντου Πόρτλαντ.....	25
1.2.1.6. Ενανθράκωση σκυροδέματος.....	25
1.2.1.7. Ρηγμάτωση και είδη ρωγμών οπλισμένου σκυροδέματος.....	26
1.2.2. Επιχρίσματα.....	27
1.2.2.1. Στρώσεις επιχρίσματος.....	28
1.2.2.2. Ρηγματώσεις στη μάζα των επιχρισμάτων.....	28
1.2.2.3. Αποκόλληση επιχρισμάτων από το υπόστρωμα τους ή από την υποκείμενη στρώση.....	30
1.3. ΣΤΡΩΜΑ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ.....	30
1.3.1. Στρώμα προετοιμασίας και φωτογραφικό υπόστρωμα.....	31
1.3.2. Βερνίκι πολυουρεθάνης.....	31
1.3.2.1. Προβλήματα κι αστοχίες κατά την εφαρμογή.....	32
1.3.2.2. Προβλήματα κι αστοχίες κατά την αντίδραση ή ξήρανση.....	33
1.3.2.3. Προβλήματα κι αστοχίες μετά την εφαρμογή.....	34
1.3.3. Αλληλεπίδραση βερνικιού πολυουρεθάνης με υποκείμενες στρώσεις.....	35
1.4. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ.....	36
1.4.1. Ζελατίνη.....	36
1.4.1.1. Ιδιότητες.....	36
1.4.1.2. Φυσική φθορά.....	38
1.4.1.3. Χημική φθορά.....	38
1.4.1.4. Βιολογική φθορά.....	38
1.4.2. Αλογονίδια αργύρου.....	39
1.4.3. Παραγωγή γαλακτώματος.....	40
1.4.4. Σχηματισμός λανθάνουσας εικόνας.....	40
1.4.4.1. Χημική ευαισθητοποίηση.....	41
1.4.4.2. Φασματική ευαισθητοποίηση.....	42
1.4.5. Χημεία φωτογραφικής διαδικασίας.....	42
1.4.5.1. Εμφάνιση.....	42
1.4.5.2. Μετα – εμφανιστικά στάδια επεξεργασίας.....	43
1.4.6. Φθορά υλικού σχηματισμού εικόνας.....	44
1.4.6.1. Ανεπαρκής ή κακή επεξεργασία.....	45
1.4.6.2. Περιβαλλοντικές συνθήκες.....	45

2. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ.....	46
2.1. ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΑΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	46
2.1.1. Ορισμός μακροφωτογραφίας.....	46
2.1.2. Αποκατάσταση ορολογικής αμφισημίας.....	46
2.1.2.1. Macro-, macromode- και micro- φακοί.....	46
2.1.2.2. Μακροφωτογραφία –μικροφωτογραφία.....	47
2.1.3. Εφαρμογές μακροφωτογραφίας.....	47
2.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ.....	47
2.2.1. Αρχή της μεθόδου.....	47
2.1.2. Εφαρμογές της μικροσκοπίας οπτικών ινών.....	47
2.2.3. Πειραματική διάταξη.....	48
2.3. ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ.....	48
2.3.1. Έννοια και περιγραφή του χρώματος.....	48
2.3.2. Χρωματομετρικά συστήματα RGB και CIE/XYZ.....	49
2.3.3. Ο χρωματικός χώρος CIELAB (1976).....	52
2.3.4. Συντελεστής φασματικής ανάκλασης R(λ).....	54
2.3.5. Έκφραση και μέτρηση της χρωματικής διαφοράς ΔE^*_{ab}	55
2.3.6. Εφαρμογές χρωματομετρίας.....	55
2.3.7. Πειραματική διάταξη.....	56
2.4. ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ.....	57
2.4.1. Υπέρυθρη ακτινοβολία.....	57
2.4.2. Ανάκλαση, διαπερατότητα και απορρόφηση.....	57
2.4.3. Ακτινοβολία μέλανος σώματος (black body).....	57
2.4.4. Ακτινοβολία γκριζου σώματος.....	59
2.4.5. Συντελεστής εκπομπής.....	60
2.4.6. Μέθοδοι υπέρυθρης θερμογράφησης.....	61
2.4.7. Μήκος κύματος θερμογραφικών συστημάτων.....	61
2.4.8. Θερμογραφικός έλεγχος.....	62
2.4.8.1. Παθητική προσέγγιση.....	62
2.4.8.2. Ενεργητική προσέγγιση.....	62
2.4.9. Εφαρμογές της θερμογραφίας υπέρυθρου.....	63
2.4.10. Πειραματική διάταξη.....	63

III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ.....	66
4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ	68
5. ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΜΑΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	71
5.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	71
5.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	71
5.3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	78
6. ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ.....	81
6.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	81
6.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	81
6.3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	93
7. ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑΣ.....	95
7.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	95
7.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	96
7.3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	109
8. ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ.....	112
8.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	112
8.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	112
8.3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	120
9. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	122

10. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	123
-----------------------------------	-----

IV. ΠΗΓΕΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	125
-------------------------------	-----

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

1.1. Η ΚΑΙΝΟΥΡΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ Η ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Οι καινούριες τεχνικές ζωγραφικής, οι ριψοκίνδυνοι συνδυασμοί υλικών, καθώς και η ιδεολογία που προτάσσει μόνο την προσωρινή εντύπωση στην καλλιτεχνική πρόθεση ή σκοπεύει στην παλαιώση και τη φθορά θεωρώντας τα θετικά χαρακτηριστικά, δημιουργούν ένα σημαντικό πρόβλημα, τόσο για τη σύγχρονη τέχνη, όσο και για το συντηρητή. Ο ίδιος τώρα, βρίσκεται στη δυσάρεστη θέση να αναγνωρίσει ότι με τα σημερινά δεδομένα των τεχνικών αποκατάστασης, πολλά σύγχρονα έργα δε μπορούν να διασωθούν.

Το ζητούμενο σήμερα από το συντηρητή είναι να εφαρμόσει αρχικά ή να εφεύρει τις μεθόδους της τεχνικής της αποκατάστασης προκειμένου να αντιμετωπίσει τις δυσκολίες της συντήρησης που αντιμετωπίζει η σύγχρονη τέχνη, η οποία δηλώνει πλέον ξεκάθαρα στο συντηρητή, ότι η επέμβαση του μπορεί να είναι περιττή ή ακόμα ανεπιθύμητη [1].

Είναι γνωστό ότι τα προβλήματα των υλικών στην τέχνη αποτελούν πάντα μία δευτερεύουσα κατηγορία για τους καλλιτέχνες, οι οποίοι είναι υποχρεωμένοι να αναλάβουν τα ρίσκα που προκύπτουν από τη χρήση των διαφόρων υλικών. Το γεγονός αυτό έχει ήδη θέσει ένα σοβαρό ερώτημα για τους συντηρητές, ερώτημα που αφορά στην κατανόηση της λογικής και της σκέψης του σύγχρονου δημιουργού και επομένως στην οποιαδήποτε εργασία συντήρησης επιχειρηθεί.

Το ερώτημα αυτό γεννά με τη σειρά του κι άλλα ερωτήματα. Πρέπει η μαρτυρία του δημιουργού για τα υλικά και κυρίως για τη λογική και τη σκέψη με την οποία ο ίδιος τα χρησιμοποίησε, προκειμένου να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα, να καθοδηγήσει τους μελλοντικούς συντηρητές των έργων του; Τι συμβαίνει στην περίπτωση διχογνωμίας ή διαφορετικής πορείας σχετικά με μία δεδομένη επέμβαση;

Εφόσον είναι αναμφισβήτητα δεκτό, ότι ο δημιουργός του έργου είναι ο άνθρωπος που έδωσε ύπαρξη σε μία σκέψη, ένα συναίσθημα, μία εικόνα του μυαλού του, έχει το δικαίωμα, ο ίδιος να επιλέξει την πιθανή πορεία ζωής του έργου, αυτή που εκφράζει καλύτερα τον ίδιο και κατ' επέκταση και τη δημιουργία του. Βέβαια, ένα έργο τέχνης συνεχίζει την πορεία του στο χρόνο και μετά το θάνατο του δημιουργού του. Ο συντηρητής οφείλει, όμως, να γνωρίζει τη σκέψη και τη φιλοσοφία του δημιουργού τόσο καλά, έτσι ώστε να επέμβει, εάν χρειαστεί, στο έργο τέχνης με βάση τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν αυτό, άρα και το δημιουργό του. Μόνον τότε η επέμβασή του θα είναι συγκεκριμένη και μέσα στα πλαίσια της φιλοσοφίας που ο δημιουργός έχει ορίσει από τη στιγμή της κατασκευής του έργου τέχνης και για τον υπόλοιπο χρόνο ζωής αυτού [1].

1.2. ΥΛΙΚΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΤΕΧΝΗΣ, ΦΘΟΡΑ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Τα τελευταία χρόνια το ποσοστό των μοντέρνων έργων τέχνης έχει αυξηθεί αναφορικά με αυτό των παλιών έργων. Ειδικά στη μοντέρνα τέχνη, οι φθορές παρουσιάζονται πιο γρήγορα και είναι πολύ πιο επικίνδυνες.

Αυτό απαιτεί μία συνεχή παρακολούθηση και μία πιο αυστηρή εφαρμογή των κανόνων προστασίας, όσον αφορά στις συνθήκες φύλαξης, τη μεταφορά κ.τ.λ. Σε πολλές περιπτώσεις χρειάζεται να γίνουν προληπτικές επεμβάσεις πάνω στα έργα. Πολύ συχνά, οι καλλιτέχνες δεν είναι πληροφορημένοι για τη λειτουργία, την ανθεκτικότητα στο χρόνο και τις δυνατές ή αδύνατες προσμίξεις ουσιών και νέων υλικών με τα παραδοσιακά. Επίσης, πολλές φορές δηλώνουν ότι η παλαίωση και η φθορά του έργου ήταν από την αρχή μέσα στις καλλιτεχνικές τους επιδιώξεις, αρνούνται την αναγκαιότητα της διατήρησης του έργου τέχνης, όπως π.χ. ο Magritte, ενώ η φθορά (διάλυση, διάσπαση, αποσύνθεση) γίνεται αισθητικό χαρακτηριστικό (όπως εννοείται από τον Puvvis de Chavannes) [1].

Τα προβλήματα στη συντήρηση μοντέρνων έργων με μικτές τεχνικές, εμφανίζονται πιο έντονα, όταν χρειαστεί να γίνει μία αναδόμηση των δομικών τους υλικών. Προκύπτουν εντελώς καινούριες μέθοδοι εργασίας στα εργαστήρια συντήρησης. Οι παραδοσιακές μέθοδοι συντήρησης, είναι ανεπαρκείς, λόγω της σύνθετης δομής και των υλικών, από τα οποία είναι φτιαγμένα τα έργα. Στη συντήρηση των μοντέρνων έργων, υπάρχει η περίπτωση μίας ακραίας επέμβασης αναδόμησης κάπου υλικού, το οποίο στην περίπτωση αντικατάστασής του μπορεί να προκαλέσει και την αντικατάσταση κάποιου υγιούς υλικού, το οποίο είναι μέρος του. Σε αυτήν την περίπτωση, δε σημαίνει ότι το έργο χάνει την αυθεντικότητά του, εάν στην επέμβαση αυτή διατηρηθεί η ιδέα του συνόλου. Δηλαδή, στα μοντέρνα έργα, η αυθεντικότητα έχει σχέση περισσότερο με την “ιδέα” του καλλιτέχνη, παρά με την καλλιτεχνική πράξη.

Η διαίρεση των υλικών σε ξύλο, μέταλλο και πέτρα, η οποία ίσχυε πριν πενήντα χρόνια, θεωρείται ξεπερασμένη για τα σύγχρονα έργα. Η βιομηχανία, από τότε ήδη, παρήγαγε συνθετικά υλικά, τα οποία προσέφεραν καινούριες δημιουργικές δυνατότητες στον καλλιτέχνη. Οι πρώτες καλλιτεχνικές δοκιμές με πλαστικά του Anton Persner και Naum Gabb, εμφανίζονται το 1920. Οι καλλιτέχνες γνωρίζουν την ελευθερία που μπορούν να τους δώσουν τα καινούρια υλικά για την πραγματοποίηση των έργων τους. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη μοντέρνα τέχνη, δεν αποτελούν πάντοτε υλικά για ζωγραφική ή γενικότερα για τέχνη (π.χ. χρώματα για βάψιμο τοίχων, συνθετικά υλικά όπως το αφρολέξ κ.τ.λ.). Αλλά και στο παρελθόν, δεν είναι όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (π.χ. βερνίκια και χρώματα) υλικά για έργα τέχνης. Σπάνια οι σύγχρονοι δημιουργοί ενδιαφέρονται για τη διατήρηση και διάρκεια ζωής των έργων τους. Συχνά, πραγματοποιούν μία εφήμερη ιδέα και δεν ενδιαφέρονται να εξετάσουν τα υλικά, όπως έκαναν οι παλιοί “δάσκαλοι” [1].

Πολλές συζητήσεις γίνονται γύρω από τη σύγχρονη τέχνη. Όποιος τη δημιουργεί και όποιος την πουλάει αρνείται κατηγορηματικά την περιορισμένη διάρκεια

ζωής των έργων. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να μεσολαβήσει η ανάλυση του αν μπορούν να συντηρηθούν τα μοντέρνα και σύγχρονα έργα.

Η θεμελίωση της λύσης του προβλήματος, είναι αποφασιστική, διότι από τεχνολογικής πλευράς, όλα τα προβλήματα μπορούν να λυθούν, όπως και σε άλλους τομείς της τεχνικής και των επιστημών. Στον τομέα της τέχνης αντίθετα, γίνεται δεκτό ότι η συντήρηση είναι πάντα δυνατή, μόνο σε μία συνεχή αυτοκριτική.

Λαμβάνοντας υπόψη, ότι πολλά έργα και αντικείμενα μοντέρνας τέχνης δεν έχουν αναγνωριστεί για την καλλιτεχνική τους αξία, αλλά για την απόλυτη πρωτοπορία της τεχνικής που έχει χρησιμοποιηθεί, χρειάζεται να συνειδητοποιηθεί ότι και η συντήρησή τους είναι μία υπόθεση εντελώς διαφορετική από τη συντήρηση των βυζαντινών τέμπλων και εικόνων ή των προσωπογραφιών του μπαρόκ και των τοιχογραφιών της Αναγέννησης [1].

Ορισμένες φάσεις της σύγχρονης τέχνης ονομάστηκαν “πειραματισμοί”. Σε μία ανάλογη φάση βρίσκεται και η συντήρηση. Είναι γεγονός, ότι συντήρηση σημαίνει και πειραματισμό, αλλά σε αυτή τη φάση, η συντήρηση συμπίπτει με μία τέχνη αναλόγου προσανατολισμού. Η αντίφαση σε αυτή τη συγκυρία, της τέχνης και της συντήρησης του “πειραματισμού”, είναι ότι αντί να προκαλέσει την εξοικείωση της μίας πλευράς με την άλλη, αντίθετα έχει φέρει αμηχανία και προβληματισμό στη συντήρηση, καθώς και την απόρριψή της από την πλευρά της τέχνης. Ο συντηρητής που ασχολείται με την παραδοσιακή τέχνη μένει αμήχανος μπροστά στο νέο αντικείμενο της τέχνης. Γι’ αυτό, χρειάζεται να εξοικειωθεί με την καινούρια “ιδεολογία” της τέχνης και να καταλάβει ότι η προσέγγισή του δε μπορεί να περιορίζεται μόνο στην αναζήτηση λύσεων των τεχνικών λεπτομερειών της τέχνης και των υλικών. Η γνώση των υλικών και της τεχνικής των έργων δε δίνει λύσεις στα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι συντηρητές, παρά μόνον σε συνδυασμό με την “ιδεολογία” των έργων.

Η προσεκτική παρατήρηση και η εκτίμηση του έργου τέχνης είναι τα πρώτα βήματα για τη σωστή αποκατάσταση. Ταυτόχρονα, αυτό σημαίνει το σεβασμό σε ορισμένα σημάδια γήρανσης, όπως π.χ. τα “κρακλέ”, η οξειδωση κ.ά. Εάν δε ληφθούν υπόψη τα παραπάνω, υπάρχει ο κίνδυνος λανθασμένων συμπερασμάτων και σημείων εκκίνησης και κατά συνέπεια ο κίνδυνος απομόνωσης του έργου από την ιστορία του [1].

Πολλές φορές στη σύγχρονη τέχνη, η φθορά και η γήρανση αποτελούν αισθητικό φαινόμενο. Τα υλικά, η εικονογραφία και τα θέματα, έχουν ως στόχο πολλές φορές το κατεστραμμένο ή γκρεμισμένο π.χ. Joseph Beuys και Dieter Rot. Η γήρανση και οι φθορές αποτελούσαν έως τώρα ένα ουσιαστικό κριτήριο της χρονολόγησης αυτού, ενώ στη σύγχρονη τέχνη δεν υπάρχει κάτι αντίστοιχο.

Η φθορά είναι ένα καθοριστικό στοιχείο του έργου τέχνης. Μία επέμβαση σε αυτή, είναι πάντα μία παρέμβαση σχετική και συζητήσιμη. Επίσης, το αισθητικό αποτέλεσμα της φθοράς μπορεί να αποτελεί για το έργο ένα θετικό στοιχείο για το ίδιο, αλλά και για την ιστορία του ή να του προσδώσει ένα όμορφο αισθητικό αποτέλεσμα.

Χρειάζεται σε κάθε περίπτωση που αντιμετωπίζεται ένα σύγχρονο έργο ο συντηρητής να είναι σε θέση να αντιληφθεί, αν κάποιες συγκεκριμένες φθορές π.χ. φουσκώματα ή “κρακλέ”, αποτελούν στοιχείο καθοριστικό για το στυλ ή την εποχή στην οποία ανήκει το έργο, ή τέλος, για την αυθεντικότητά του.

Η ελλιπής ευαισθησία του κοινού, καθώς επίσης και του προσωπικού των μουσείων, οδήγησε σε επεμβάσεις που δεν ανταποκρίνονται στην πρόθεση του καλλιτέχνη. Έτσι με την αφορμή μίας έκθεσης, “Η μπανιέρα των Παιδιών” του Beuys, ελευθερώθηκε από όλους τους “αντιαισθητικούς” ψευδόχρυσους και αντικαταστάθηκε από μία “καθαρή μπανιέρα” που μπήκε σε έναν “καθαρό” κόσμο [1].

Η τέχνη διδάσκει τη θέαση και την κατανόηση του κόσμου. Η σύγχρονη εποχή έχει ευαισθητοποιηθεί από τη μοντέρνα τέχνη, όσον αφορά στις φθορές του τοίχου, του ξύλου, παλιών κουρελιών και αυτοκινήτων. Μέσω αυτού, η μοντέρνα τέχνη έχει επιτύχει μία ιστορική νομιμοποίηση.

“Υπάρχει κάτι που είναι πιο ωραίο από ένα ωραίο πράγμα: Η κατάρρευση ενός ωραίου πράγματος.” (Ruinis de Chavannes). Η άποψη αυτή, οδηγεί στο υπερβολικό συμπέρασμα, ότι η συντήρηση είναι κάτι το περιττό. Ποιος είναι ο σκοπός να διατηρηθεί μία κατάρρευση; Πού παρεμβάλλεται η δουλειά του συντηρητή, για να σταματήσει η φθορά; Πού παρεμβαίνει ο συντηρητής, κατά τη διάρκεια της παρακμής, σε ένα έργο τέχνης, όταν η φθορά αποτελεί πρόθεση του καλλιτέχνη; Η συντήρηση εφήμερων έργων τέχνης μπορεί να γίνει η αιτία μίας αντιδικίας, λόγω της έλλειψης κατανόησης του συντηρητή, της ιδεολογίας, κατά την οποία είναι ανεπιθύμητος [1].

Στη σύγχρονη τέχνη η παρακμή στηρίζεται ιδεολογικά από παραδείγματα αντικειμένων της καθημερινότητας. Η προσοχή του συντηρητή κατευθύνεται σε αυτή τη σχέση, που είναι χρήσιμη για να ξεκαθαρίσει τη θέση του και να ερμηνεύσει τα δεδομένα. Χρειάζεται να βρεθούν τα όρια της αποκατάστασης, κατά περίπτωση, ώστε να παραμείνει αναλλοίωτη η ιδεολογία του έργου.

Το ημιτελές σαν τεχνική μορφή κατείχε στην τέχνη και την ιδεολογία της τέχνης ένα σημαντικό ρόλο. Το ημιτελές και το κατεστραμμένο βρίσκονται σε μεγάλη αντίθεση με την τελειότητα και την τεχνική ακρίβεια, που τόσο πολύ συναντώνται στη σύγχρονη εποχή. Έτσι, και λαμβάνοντας υπόψη τις επεμβάσεις που έγιναν σε έργα του παρελθόντος, συμπεραίνεται πως η διερεύνηση σε θεωρητικό, καλλιτεχνικό ή ιδεολογικό επίπεδο, που αντιστοιχεί στη σχέση ανάμεσα στην αισθητική της μοντέρνας τέχνης και τη συντήρηση, καθίσταται απαραίτητη [1].

1.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΤΕΧΝΗΣ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Η τέχνη σήμερα δεν περιορίζεται στην πράξη και στην παραγωγή. Σε αυτή την περίπτωση, τέχνη είναι ακόμα και (ή διπλή αντίφαση) η καταστροφή. Τι μένει;

Και τι πρέπει να συντηρηθεί; Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο συντηρητής πρέπει να δεχτεί καταστάσεις, που έως τώρα απαιτούσαν επεμβάσεις συντήρησης, υποχρεωτικές και αναγκαίες.

Επειδή οι σκοποί της τέχνης προσανατολίζονται σε μία νέα κατεύθυνση, είναι απαραίτητο να διακριθούν τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά της σύγχρονης τέχνης, όσον αφορά στη συντήρηση.

Έτσι, προκύπτουν τρεις τομείς:

A) Έργα που πρέπει να γίνουν κατανοητά και να συντηρηθούν, σύμφωνα με τον παραδοσιακό τρόπο, με την ευρεία έννοια του όρου.

B) Έργα που παρουσιάζουν καινούρια τεχνικά προβλήματα.

Γ) Έργα που χρειάζονται μία ιδεολογική αναζήτηση, για το πρόβλημα της συντήρησης.

Στην πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιούνται οι παραδοσιακές μέθοδοι συντήρησης. Στη δεύτερη περίπτωση, είναι χρήσιμο να αποφευχθούν οι παραδοσιακές μέθοδοι, ανατρέχοντας σε καινούριες τεχνικές και υλικά. Είναι αναγκαίο να αντιμετωπιστούν τα σύγχρονα έργα τέχνης με μία αντίστοιχη ηθική πρακτική και να γίνονται μία σειρά από τεστ. Στην τρίτη περίπτωση, είναι απαραίτητη μία καινούρια θεωρητική προσέγγιση που από τη μία πλευρά να βασίζεται στην καινούρια κατάσταση της σύγχρονης τέχνης και από την άλλη πλευρά, να λαμβάνει υπόψη της, τα δεδομένα σημεία αναφοράς της ιστορίας της σκέψης του παρελθόντος, αλλά και της σύγχρονης σκέψης. Όσον αφορά δε στη διαδικασία της επέμβασης, πρέπει να υπάρχει ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών, πολλές από τις οποίες μπορούν να ζητηθούν από τους εν ζωή καλλιτέχνες [1].

Η γνώση του έργου και η άμεση σχέση με αυτό, είναι με την πραγματική έννοια του όρου, το κυριότερο πράγμα για τον ειδήμονα. Αυτό είναι σπουδαιότερο, ακόμα και από την υιοθέτηση κάποιας συγκεκριμένης θεωρίας συντήρησης. Η πιο σπουδαία πηγή στοιχείων παραμένει το αυθεντικό έργο, που δεν είναι ούτε η ανάλυση του έργου, ούτε τα στοιχεία από δεύτερο χέρι. Είναι το ίδιο το έργο αυτό που δείχνει τον τρόπο παρατήρησης και επέμβασης πάνω σε αυτό και αυτό ισχύει ακόμα και για τα έργα, τα οποία αρνούνται τη συντήρηση. Και κάτι ακόμα: είναι η ίδια η τέχνη αυτή που δημιουργεί τα προβλήματα και κάθε φορά υποδεικνύει τρόπους συντήρησης, αλλά τίποτα δε λύνεται μία φορά για πάντα.

Είναι φτιαγμένη η τέχνη για να μην πεθαίνει ή όχι; Το να διατηρήσει κανείς ένα έργο, χωρίς να λάβει υπόψη την ιδεολογία του, δεν είναι ένα λάθος; Η συντήρηση είναι στ' αλήθεια επιτακτική; Όπως και να' ναι, η συντήρηση αποτελεί πάντα ένα "ξύσιμο του κεφαλιού" και μία δοκιμή στα τυφλά. Το να αγωνίζεται κανείς εναντίον της φθοράς, αυτή είναι και η έννοια της συντήρησης. Το να συνεχίζει να επεμβαίνει με βάση παλιούς κανόνες και να βιάζει την τρέχουσα εποχή, δοκιμάζοντας να την περιορίσει μέσα σε ξεπερασμένα σχήματα, σημαίνει την άγνοια αυτής της πραγματικότητας. Στην αντίθετη περίπτωση, σημαίνει μία συνεχή προσπάθεια προσαρμογής [1].

2. ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΝΙΚΟΥ ΚΕΣΣΑΝΛΗ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Νίκος Κεσσανλής κατέχει σημαίνοντα ρόλο στον καλλιτεχνικό χώρο. Πολυδιάστατος, με εξαιρετική παιδεία και τεχνογνωσία, ανήσυχος, αεικίνητος, παθιασμένος, με βαθιά αγωνία ως προς τη σύγκλιση της πρόθεσης και της εκφοράς της στην καλλιτεχνική πράξη, ο Κεσσανλής κατάφερε να δομήσει ένα αμιγώς προσωπικό καλλιτεχνικό σύμπαν, διαγράφοντας μία πορεία, βασικά χαρακτηριστικά της οποίας υπήρξαν το σαφές εννοιολογικό περιεχόμενο και η εμμονική συνέχεια και συνέπεια. Ως εκ τούτων, αφενός ο Κεσσανλής δε μπορεί να προσεγγιστεί από την εργογραφία μίας και μόνον περιόδου του, αφετέρου μία ενδελεχής καλλιτεχνική αναδρομή ξεφεύγει του αντικειμένου της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Έτσι, στο παρόν κεφάλαιο που άπτεται της καλλιτεχνικής αναδρομής του Νίκου Κεσσανλή, θα παρουσιαστούν οι περίοδοι της καλλιτεχνικής του πορείας, στην κατεύθυνση μιας αδρομερούς κατανόησης της σκέψης του δημιουργού, με έμφαση στην περιγραφή της εκάστοτε χρησιμοποιούμενης τεχνικής και των αντίστοιχων υλικών, ενώ παράλληλα και όπου κρίνεται σκόπιμο, θα παρατίθενται στοιχεία, που σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, και αυτό σκιαγραφώντας και την τεχνική κουλτούρα του καλλιτέχνη, θα συντείνουν στην κριτική αποτίμηση των προοπτικών αποκατάστασης του υπό εξέταση έργου, στο κεφάλαιο των προτάσεων συντήρησης.

2.2. ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1946-57

Ο Νίκος Κεσσανλής 'εισέρχεται' ορμητικά στο χώρο της τέχνης, ήδη από την ηλικία των δεκατεσσάρων χρόνων, όταν και συναντά το ζωγράφο Γιάννη Σπυρόπουλο, στο εργαστήρι του οποίου ξεκινά να εργάζεται ως μαθητευόμενος. Γίνεται δεκτός στην Ανωτάτη Σχολή Καλών Τεχνών, στο εργαστήρι του Γιάννη Μόραλη, ενώ παράλληλα συνεχίζει να εργάζεται στο εργαστήρι του Σπυρόπουλου, αλλά και σε αυτό του Ν. Νικολάου. Εργάζεται επίσης και στο θέατρο σκιών και μαριονετών, στο λαϊκό θέατρο της << Εργατικής Εστίας >>, ενώ επιπλέον συνεργάζεται με το γελοιογράφο Πολενάκη, για την κατασκευή των πρώτων διαφημιστικών κινουμένων σχεδίων.

Εκδηλώνει το ενδιαφέρον του για τις τεχνικές και τα υλικά της ζωγραφικής, μεταφράζοντας από τα ιταλικά και τα γαλλικά, διασκευάζοντας και δημοσιεύοντας σχετικά έργα των Carlo Linzi και J.C. Vibert. Με υποτροφία της ιταλικής κυβέρνησης σπουδάζει για τέσσερα χρόνια στο Istituto Centrale del Restauro φρέσκο, χαρακτηριστική και τεχνικές συντήρησης (πίνακες, ψηφιδωτά, αποκόλληση τοιχογραφιών), με καθηγητές τον C. Brandi και τον G. Urbani. Κερδίζοντας μία δεύτερη υποτροφία συμμετέχει στις εργασίες αναστήλωσης των

φρέσκων της εκκλησίας του San Giacomo degli Eteimitani της Πάντοβα, βομβαρδισμένης στον πόλεμο και ζωγραφισμένης από τον Mantegna και τους μαθητές του, μαθαίνοντας έτσι τέλεια τις τεχνικές των ιταλών primitives και των ζωγράφων της Αναγέννησης, ενώ εργάζεται επίσης, και στην αποκατάσταση των τοιχογραφιών της εκκλησίας του Αγίου Φραγκίσκου της Ασίζης [1, 2].

Η νευρώδης κίνηση του πινέλου με πολύ χρώμα (πάστα) σε κάποια σημεία, η βίαιη γραμμή, το δυνατό και εξπρεσιονιστικό σχέδιο και η έντονη αφαιρετική διάθεση διακρίνουν τα έργα της πρώτης αυτής περιόδου του καλλιτέχνη.

Από πλευράς τεχνικής, αυτή εντάσσεται στις παραδοσιακές ζωγραφικές τεχνικές με διαφοροποιά στοιχεία, σημεία, όπως προαναφέρθηκε, με πάστα χρώματος, και άλλα, με ξύσματα με σπάτουλα, και χαράξεις.

Όσον αφορά στα χρησιμοποιούμενα υλικά, αυτά είναι: τελάρο, μουσαμάς, προετοιμασία λαδιού (κόλλα ζαρντέν) και χρώματα λαδιού [1].

2.3. ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1957-64

Η περίοδος αυτή χωρίζεται σε δύο υποπεριόδους, χρονικό ορόσημο διχοτόμησης της οποίας, συνιστά η μετάβαση του Κεσσανλή στο Παρίσι, το 1959. Ο χωρισμός αυτός κρίνεται άξιος όχι από εννοιολογικής σκοπιάς, αφού ο εννοιολογικός μίτος ολόκληρης της καλλιτεχνικής πορείας του Κεσσανλή είναι αρραγής, αλλά από πλευράς ιδιαιτερότητας συντήρησης, αφού οι περίοδοι πριν και μετά το 1959 ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες.

Η πλειονότητα των έργων της υποπεριόδου 1957-1959 συνίσταται σε έργα μη παραστατικά, φτιαγμένα με παραδοσιακές ζωγραφικές τεχνικές, όπως αυτά της προηγούμενης του περιόδου, ενώ από πλευράς υλικών ο μουσαμάς αντικαθίσταται, σε πάρα πολλά από αυτά, από χαρτί. Ο Κεσσανλής σε ένα πνεύμα αναζήτησης όσον αφορά την αντιπαράθεση και τη διαπλοκή ύλης και χειρονομίας, ετοιμάζεται να έρθει σε ρήξη με τα παραδοσιακά ζωγραφικά μέσα, επιδιόμενος σχεδόν εξολοκλήρου σε χειρονομιακή ζωγραφική. Ως εκ τούτου, τα λίγα, σε αριθμό, έργα, που συμπληρώνουν την εργογραφία της υποπεριόδου αυτής, είναι φτιαγμένα με μικτή τεχνική, στην έννοια ότι συνδυάζει τα έως τώρα αναφερθέντα ζωγραφικά υλικά με σοβά τον οποίο στηρίζει στο μουσαμά με βινυλική κόλλα (P.V.A). Φτάνοντας στο απόγειο κορεσμού αυτής της περιόδου, καταστρέφει καίγοντας, συμβολικά, σε μια παραλία της Όστιας, εκατόν πενήντα έργα του και μεταβαίνει στο Παρίσι.

Μέχρι το 1961, ο Κεσσανλής, με την τεχνική του κολλάζ, μετατρέπει τον πίνακα σε ένα υλιστικό 'πεδίο μάχης'. Τσαλακωμένα χαρτιά, κομμάτια χαρτιού, αποκόμματα εφημερίδας, πανιά, χρώματα, μελάνια καλούνται να συνυπάρξουν σε ένα ευρύ φάσμα συνδυασμών, καθιστώντας κάθε έργο, μοναδική, προς εξέταση, περίπτωση υλικής επαλληλίας. Από πλευράς υλικών, άξια αναφοράς είναι επιπλέον η βινυλική κόλλα (P.V.A.) ή ο γύψος, που χρησιμοποιεί ο Κεσσανλής για τη στερεοποίηση των χαρτιών και των πανιών [1].

Η ανεξαρτητοποίηση της χειρονομίας από καταναγκασμούς, οιασδήποτε φύσεως, περικλείει οπωσδήποτε και το χωρικό στοιχείο. Ο Κεσσανλής, μέχρι το 1963, 'απεγκλωβίζεται' από το δισδιάστατο του πίνακα και οικειοποιείται το χώρο ενεργοποιώντας τον καλλιτεχνικά. Κάνει τα πρώτα 'τσαλακωμένα happenings', όπως ο ίδιος τα ονομάζει, κατά τα οποία ο ίδιος και οι φίλοι του αποκρύπτουν το πρόσωπο τους πίσω από μάσκες από χαρτί ή ύφασμα και μεταμφιέζονται σε τρισδιάστατα γλυπτά, κινούμενα ελεύθερα στο χώρο και σέρνοντας πίσω τους ένα γυψωμένο σεντόνι που ξεδιπλώνεται στο άπειρο και τις 'Χειρονομίες'. Οι 'Χειρονομίες' συνίστανται σε αντικείμενα όπως μεταλλικά πλέγματα, ξύλα, γάζες, ηλεκτρικά καλώδια, κλωστές, άλλα μεταλλικά φθαρμένα αντικείμενα, τα οποία εκτίθενται ως εαυτά, εναποτιθέμενα ή κρεμώμενα, ενώ άλλα, όπως ύφασμα και πανιά, τα μετασχηματίζει με γύψο ή και στόκο, δίνοντας τους υφή και σχήμα με πτυχές. Ο Κεσσανλής εκτοξεύει, σε επίπεδο κλίμακας, τη σειρά 'Χειρονομίες', με εκατόν πενήντα δύο μέτρα πτυχωτό λευκό σεντονόπανο, ξεδιπλωμένο σε μια επιφάνεια ογδόντα τετραγωνικών μέτρων, την ανατρεπτική, αντιζωγραφική 'Μεγάλη Λευκή Χειρονομία', που χωρίς αμφιβολία κατέκλυσε και υπέταξε το χώρο [1, 2].

Στο πλαίσιο μιας προβληματικής ως προς τη συντήρηση, όπως αυτή θίχτηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η εργογραφία της δεύτερης υποπεριόδου της περιόδου αυτής, χαρακτηρίζεται από τη χρήση παραδοσιακά μη καλλιτεχνικών υλικών και συνδυασμό αυτών, και από το έντονο στοιχείο του εφήμερου.

2.4. ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1963-75 & 1989

Ο Κεσσανλής εννοούσε τη 'Μεγάλη Λευκή Χειρονομία' ως το οριακό σημείο έκφρασης της, αυστηρά, προσωπικά, καθορισμένης ζωγραφικής του αντίληψης. Για τον Κεσσανλή, η ζωγραφική δεν είναι μόνο ένα συναρμολόγημα χρωμάτων πάνω σε μία επίπεδη επιφάνεια. Είναι δράμα, αφήγηση, συμβολική πράξη, καθαρή χειρονομία. Ο Κεσσανλής, αρχίζει να πειραματίζεται στην περιοχή της φωτογραφίας. Δεν είναι φωτογράφος κι ούτε φιλοδοξεί να γίνει. Με την ίδια χειρονομιακή ένταση, επί της αρχής ζωγράφος, αντιμετωπίζει και τη φωτογραφία, ως μία τεχνική – δεξαμενή, γεμάτη με έναν εντυπωσιακά μεγάλο αριθμό δυνατοτήτων κατασκευής εικόνας.

Δύο είναι οι κύριες σειρές έργων αυτής της περιόδου, οι 'Φαντασμαγορίες της Ταυτότητας' και οι 'Αναμορφώσεις' σε δύο και τρεις διαστάσεις.

2.4.1. Φαντασμαγορίες της Ταυτότητας

Η τεχνική στην οποία βασίζεται η συγκεκριμένη σειρά έργων έχει ως εξής: ο καλλιτέχνης τοποθετεί πίσω από ένα λευκό διαφανές πανί, που λειτουργεί σαν οθόνη, πρόσωπα/ μοντέλα που ποζάρουν λούόμενα από το φως προβολέων. Ο φωτισμός μεταβάλλεται διαρκώς μέσω των κινητών ρυθμιζόμενων προβολέων, ενώ ο Κεσσανλής μεταβάλλει επιπλέον τις αντιθέσεις της φωτοσκίασης και

αποδυναμώνει ή υπερτονίζει τα σχεδιαστικά του αποτελέσματα. Στη συνέχεια, φωτογραφίζει τις ποικίλες υπό μεταμόρφωση στάσεις, τις χειρονομίες και τις μετατοπιζόμενες φόρμες που εγγράφονται στην οθόνη, και τις μεταφέρει τυπωμένες και μεγεθυμένες, μέσω επιδιασκοπίου (projector), στη φυσική τους διάσταση πάνω σε ευαισθητοποιημένο πανί. Η εκτύπωση στο πανί εμπεριέχει σιωπηρά και τα στάδια της εμφάνισης και της στερέωσης, σύμφυτα, με τη φωτογραφία στάδια, από τη γέννηση της [1, 2].

Από πλευράς υλικών κυριαρχεί ένας μινιμαλισμός, αφού ο χειρονομιακός πλουραλισμός διοχετεύεται εξολοκλήρου στο τεχνικό σκέλος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι: πανί, φωτογραφικό γαλάκτωμα, με το οποίο προετοιμάζεται και φωτοευαισθητοποιείται το πανί, παρασκευασμένο από τον ίδιο τον Κεσσανλή, από συνταγή που είχε ανακαλύψει σε ένα βιβλίο της δεκαετίας του '60, καθώς και τα χημικά διαλύματα του εμφανιστή και του στερεωτή [1].

2.4.2. Αναμορφώσεις

Ο Κεσσανλής, έχοντας συνειδητοποιήσει τις απεριόριστες δυνατότητες της *meccano* (μηχανική τέχνη) - η τέχνη η οποία χρησιμοποιεί φωτογραφικές μεθόδους, με στόχο τη μηχανική επεξεργασία της υπό σύνθεση εικόνας-, αλλά και τους κινδύνους κορεσμού που ενέχει η επαναλαμβανόμενη εφαρμογή της ίδιας μεθόδου, εμβαθύνει ακόμα περισσότερο στη δομική ανάλυση της εικόνας, με τις 'Αναμορφώσεις'.

Αναμορφωτική εικονοποιία ονομάζεται η δημιουργία μιας στιγματικής εικόνας που περιέχει εγκάρσιες μεγεθύνσεις, διατεινόμενες προς διαφορετικές κατευθύνσεις. Οι αναμορφωτικές εικόνες του Κεσσανλή παράγονται σε πρώτη φάση μέσω της πλάγιας μετατόπισης της κεντρικής εστίας του φακού κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης. Στη δεύτερη φάση, διαστρεβλώνοντας την τεχνική, ο Κεσσανλής επεμβαίνει στη δομή της εικόνας και εκμεταλλεύεται, τη στιγμή της μεταφοράς της στο ευαισθητοποιημένο πανί, όλες τις δυνατότητες της οπτικής πλάνης (μεγεθύνσεις, χιουμοριστικές παραμορφώσεις και επιμηκύνσεις των χαρακτηριστικών του προσώπου).

Τις επίπεδες απλές (πλάγια μετατόπιση της κεντρικής εστίας του φακού) αναμορφώσεις διαδέχονται προοδευτικά οι διπλές, οι σύνθετες, οι γραμμικές, οι αναμορφώσεις με ράστερ και τα φωτοαναμορφωτικά σχέδια που προκύπτουν από τις μετατοπιζόμενες επιθέσεις θετικών και αρνητικών (σχήματα ή χαρακτηριστικά προσώπων), των οποίων τα περιγράμματα δε συμπίπτουν απόλυτα. Ο Κεσσανλής θέτει εκ νέου υπό αμφισβήτηση την παραστατική δομή της εικόνας και προκαλεί τον κατακερματισμό και τη διάλυση των μορφών. Η αναμορφωμένη εικόνα, εμπεριέχοντας ταυτόχρονα το άμορφο και το παραστατικό, γίνεται ορατή από ένα και μόνο σημείο παρατήρησης. Ο θεατής καλείται να μετακινηθεί μέχρι να μπορέσει να συλλάβει από μίαν απόσταση την ακεραιότητα της σύνθεσης και τη δυνατότητα ανάγνωσης του έργου. Από τα

υπόλοιπα σημεία, η εικόνα παρουσιάζεται συγκεχυμένη, ακατάληπτη και παραμορφωμένη.

Λογική προέκταση της αναλυτικής διαδικασίας των επίπεδων αναμορφώσεων αποτελούν οι τρισδιάστατες αναμορφώσεις, εγκαταστάσεις που επιβάλλονται θεαματικά στον περιβάλλοντα χώρο. Ο Κεσσανλής προβάλλει και εκτυπώνει πρώτα την πρωτότυπη εικόνα-κλισέ σε διάσπαρτα στο χώρο, φωτοευαισθητοποιημένα επίπεδα διαφορετικών διαστάσεων, αλλά και ταυτόχρονα, τοποθετημένα σύμφωνα με μια συγκεκριμένη διάταξη και στη συνέχεια, επεμβαίνει ζωγραφικά με το χέρι, επαναφέροντας έτσι τα παραδοσιακά ζωγραφικά μέσα [2].

Το 1989 ο Κεσσανλής συμμετέχει στο Φεστιβάλ της Πάτρας με δύο από τις μεγαλύτερες τρισδιάστατες αναμορφώσεις του, το 'Ρινόκερο' (500×600×1550 εκ.) και την 'Αρπαγή της Ευρώπης' (650×900×1500 εκ), έργα τα οποία καταστρέφονται με το τέλος του Φεστιβάλ [1, 2].

Ως προς τα υλικά, που χρησιμοποιούνται, αυτά είναι: χαρτί, πανί, μουσαμάς, αλουμίνιο, ξύλο, μεταλλικά μέρη (μεντεσέδες) ως υποστρώματα, φωτογραφικό γαλάκτωμα με τα οποία φωτοευαισθητοποιούνται τα υποστρώματα, χρώμα (σκόνες ή χρώμα ξύλου) και τα χημικά διαλύματα του εμφανιστή και του στερεωτή [1].

Ο Κεσσανλής αποδεικνύεται επιδεξιότατος 'τεχνίτης' εικόνας, καταφέροντας να δημιουργήσει εικόνες σε τέτοιο βαθμό μοναδικές, ώστε για να καταστεί απόλυτα αντιληπτό το οπτικό αποτέλεσμα της κάθε μίας, να χρειάζεται εις βάθος διερεύνηση για την ταυτοποίηση της εκάστοτε συγκεκριμένης έκφανσης της τεχνικής και απαιτητική εξοικείωση με ένα πλήθος φωτογραφικών τεχνικών. Επιτίθεται στην τελειότητα της συνήθους φωτογραφικής εικόνας με μια καταστροφική, σε δομικό επίπεδο, διάθεση, ενδιαφερόμενος να φτιάξει εικόνες από τα συντρίμμια της τέλειας εικονογραφικής εκδοχής. Επιλέγει συνειδητά, επιπλέον, να διατηρήσει σε αυτές, αποχρώσεις που προκύπτουν άμεσα από τα στάδια της εμφάνισης και στερέωσης της εικόνας και που θα μπορούσαν να αποφευχθούν, καθιστώντας έναν αβίαστο χαρακτηρισμό τους ως αποχρωματισμών, αμφισβητήσιμο. Τέλος, με τις αναμορφώσεις τριών διαστάσεων, απερίφραστα δε με αυτές του 1989, δηλώνει τη συμφιλίωση του με το εφήμερο.

Ως εκ τούτων, τα έργα της περιόδου αυτής θα προσιδίαζε κατά το μάλλον, να χαρακτηριστούν ως έργα με έντονο το στοιχείο της φθοράς και του εφήμερου.

2.5. ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1975-88

Ήδη από την προηγούμενη περίοδο (1971), στα πλαίσια της επαναφοράς των ζωγραφικών μέσων μέσω του συνδυασμού τους με τη φωτομηχανική επεξεργασία της εικόνας, και παράλληλα με τις 'Αναμορφώσεις' τριών διαστάσεων, ο Κεσσανλής ξεκινά να φτιάχνει μια μικρή, σε αριθμό, σειρά έργων,

τις ‘Μεταδομές’ η οποία λαμβάνει τέλος το 1977. Πάνω σε φωτογραφίες ιστορικών έργων επεμβαίνει ως επί το πλείστον χειρονακτικά προσθέτοντας χρώματα, γραφές, κηλίδες, γραμμές, ‘σβήνοντας’ λωρίδες ή ολόκληρες επιφάνειες, καίγοντας τμήματα του έργου, αλλά και μηχανικά, εκθέτοντας υπερβολικά στο φως, ορισμένες από αυτές, κατά τη διάρκεια της εμφάνισης, προκαλώντας με αυτό τον τρόπο λευκές φωτεινές κηλίδες.

Από πλευράς υλικών χρησιμοποιούνται: χαρτί, φωτογραφικό γαλάκτωμα, χρώματα και μελάνια [2].

Εντωμεταξύ ο Κεσσανλής εγκαθίσταται στην Ελλάδα και η κατασκευή του σπιτιού του στα Βριλήσσια, η δουλειά του χτίστη τον εμπνέει, το μίγμα του τούβλου και του τσιμέντου, το ανέβασμα του τοίχου στρώση με στρώση [1, 2]. Επαληθεύοντας πως η φαντασία του καλλιτέχνη δεν έχει όρια, μα και με αποσκευές την παρακαταθήκη εμπειριών από τις σπουδές του στη συντήρηση τοιχογραφιών, από τη συμμετοχή του με μια τοιχογραφία στη διακοσμητική επένδυση των κατοικιών του αρχιτέκτονα Jacques Couelle στις Κάννες, καθώς και από τη σειρά έργων του ‘Τοίχοι’ κατά την πρώτη περίοδο της καλλιτέχνης του πορείας, ο Κεσσανλής σχεδόν φυσικά ‘βλέπει’ στον τοίχο το επόμενο υλικό στήριξης, για τα έργα της περιόδου αυτής. Με τον τοίχο ως κοινό άξονα, τα έργα της περιόδου αυτής υπάγονται στην ενότητα ‘Ζωγραφική στον Τοίχο’ και απαρτίζονται από τρεις βασικές θεματικές υποενότητες, τους ‘Τοίχους’, τα ‘Πεζοδρόμια’ και τις ‘Προσωπογραφίες’ (Παλίμψηστα). Στερεώνοντας κονίαμα τοίχου σε μουσαμά, επεμβαίνει χειρονακτικά, με βασική τεχνική το κολάζ, ζωγραφίζοντας, σχεδιάζοντας, χαράσσοντας, γράφοντας, ξύνοντας, καίγοντας, σοβατίζοντας, επικαλύπτοντας, κάνοντας graffiti, γρατζουνίζοντας, ξεφλουδίζοντας. Κομμάτια χαρτιού, εφημερίδας, αφίσες, αποκαϊδία, καπνοί, τρύπες, φθαρμένα απομεινάρια όπως γόπες, άμμος, σκόνη, φύλλα δέντρων, πευκοβελόνες, σχοινιά απαντώνται στα έργα αυτής της περιόδου, στα οποία η μετοχή της φωτομηχανικής επεξεργασίας περιορίζεται στο ελάχιστο, στο βαθμό προβολής φωτογραφιών μέσω επιδιασκοπίου πριν τη χειρονακτική επέμβαση [1, 2].

Τα πλειοψηφούντα, χρησιμοποιούμενα, υλικά είναι: μουσαμάς, βινυλική κόλλα (P.V.A), τσιμέντο (άσπρο ή κανονικό), γύψος, άμμος, ασβέστης, χαρτί και χρώματα, σε σκόνη [1].

Ο Κεσσανλής προκαλεί ξανά το ερώτημα, πως ορίζεται ένα καλλιτεχνικό υλικό, απαντώντας πως όλα τα υλικά είναι εν δυνάμει καλλιτεχνικά.

Κάθε έργο, αυτής της σειράς, συνιστά μια αυτοτελή ‘χαοτική’ αρμονία υλικών, διαστρωμάτωσής αυτών και χρησιμοποιηθέντων τεχνικών, με σαφή πρόθεση την πιστή απόδοση του πραγματικού τοίχου και της φθοράς του.

2.6. ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1996 – Τσιμέντα

Ο Κεσσανλής, έχοντας συνειδητοποιήσει τη νέα σημασία που αποκτά η τέχνη στο σύγχρονο βιομηχανικό πολιτισμό και επιχειρώντας να παίξει ένα ρόλο σ’ αυτόν, χρησιμοποιεί καινούρια υλικά και εκμεταλλεύεται στο έπακρο τα τεχνικά

του μέσα, για να προσδώσει καινούριο περιεχόμενο στην τέχνη, επανασυντάσσοντας την, και κατά συνέπεια, επανασυντάσσοντας και τον ίδιο τον άνθρωπο στις πραγματικές χρονικές του διαστάσεις. Μετά τη χρήση καθημερινών υλικών και αντικειμένων, τη θητεία του στη μηχανική τέχνη και τους 'Τοίχους', ο Κεσσανλής παρουσιάζει την τελευταία σειρά έργων του με τίτλο 'Τσιμέντα'. Το τσιμέντο, σύμβολο της κοινωνίας του 20^{ου} αιώνα, ως το πιο διαδεδομένο υλικό κατασκευής, καθίσταται ως το φέρον υλικό της εικόνας [2].

2.6.1. Η Τεχνική

Σε καλούπι υποδοχής, μεγάλων διαστάσεων (τάξη μεγέθους: 10^4 cm^2) απαρτιζόμενο από χαλύβδινους σπλισμούς και ανοξείδωτο πλέγμα ο Κεσσανλής εναποθέτει το τσιμέντο. Χαράσσει το τσιμέντο, και σοβατίζει τόσο ολόκληρη την επιφάνεια, καθώς και μεμονωμένα τμήματα αυτής σε σχήμα λωρίδων, κατεργάζεται την επιφάνεια του σοβά, που άλλοτε εμφανίζεται πιο λεία και άλλοτε πιο τραχιά. Ευαισθητοποιεί, απλώνοντας με βούρτσα ([3]) το φωτογραφικό γαλάκτωμα, και προβάλλει μεγεθυμένες, μέσω επιδιασκοπίου, τις φωτογραφίες. Σε αυτοσχέδιο λουτρό, διαστάσεων πλαστικής παιδικής πισίνας ([4]), εμφανίζει και στερεώνει τις φωτογραφίες, ενώ σε κάποια έργα, μετά την έκθεση και πριν την εμφάνιση, διατρέχει την επιφάνεια με τη βούρτσα, διασπείροντας το εκτεθειμένο φωτογραφικό γαλάκτωμα, με οπτικό αποτέλεσμα διάστικτες φωτεινές γραμμές. Σε άλλα έργα το οπτικό αποτέλεσμα 'πειράσσεται' μέσω της παρεμβολής του Κεσσανλή κατά το στάδιο της έκθεσης της φωτογραφίας. Έτσι, και ενώ στην πλειονότητα των έργων, η προβολή μέσω επιδιασκοπίου συνίσταται σε αυτή του αρνητικού της φωτογραφίας, σε άλλα φαίνεται να γίνεται προβολή του θετικού. Τέλος, πολλά από τα έργα της σειράς παρουσιάζουν γκρι και καφέ - κίτρινες αποχρώσεις, που οφείλονται στα στάδια εμφάνισης και στερέωσης.

2.6.2. Τα Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη σειρά 'Τσιμέντα' είναι τα εξής: χάλυβας, μεταλλικό πλέγμα, τσιμέντο γκρι και άσπρο, άμμος, ασβέστης ([4]), στρώμα προετοιμασίας μεταξύ τσιμέντου και φωτογραφικού γαλακτώματος, φωτογραφικό γαλάκτωμα, καθώς και τα χημικά διαλύματα του εμφανιστή και του στερεωτή. Στα περισσότερα από τα έργα της σειράς 'Τσιμέντα' ο Κεσσανλής χρησιμοποίησε το βιομηχανικό φωτογραφικό γαλάκτωμα LIQUID LIGHT της εταιρείας ROCKLAND COLLOID CORP. PIERMONT, NY, 10968 ([1, 5]) και ως στρώμα προετοιμασίας βερνίκι πολυουρεθάνης ([1, 5]), το συνιστώμενο, από την εταιρεία παραγωγής του φωτογραφικού γαλακτώματος, στρώμα προετοιμασίας [38]. Ένα μικρό περιθώριο σφάλματος αφήνεται και για το λόγο, ότι κάποια από τα έργα της σειράς, πιθανολογείται [5], λόγω της παρέλευσης μεγάλου χρονικού

διαστήματος από την κατασκευή τους, ότι τα επεξεργάστηκε εξολοκλήρου μόνος του [1].

II. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

1.1. ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Το πλαίσιο στήριξης του έργου συνίσταται σε ένα χαλύβδινο, ορθογώνιο πλαίσιο με τέσσερις εγκάρσιους, επιμήκεις, χαλύβδινους οπλισμούς.

Το σκυρόδεμα, με λιγότερο από 1/20 της δύναμης του χάλυβα σε θλίψη, στις περισσότερες περιπτώσεις επαρκεί για τις ανάγκες του σκελετού μιας οικοδομής σε θλιπτικά φορτία. Η αντοχή – ωστόσο - του σκυροδέματος σε εφελκυσμό, είναι τόσο μικρή, που για τις ανάγκες του φέροντος οργανισμού μιας οικοδομής θα πρέπει να θεωρηθεί μηδαμινή. Η όλη εικόνα αλλάζει άρδην όταν το σκυρόδεμα οπλιστεί με ράβδους από χάλυβα. Τα δύο υλικά έχουν αξιοθαύμαστη συμβατότητα:

α. διαστέλλονται και συστέλλονται με τον ίδιο περίπου ρυθμό στις αλλαγές της θερμοκρασίας (κοινός συντελεστής θερμικής διαστολής [11]),

β. η αλκαλική σύνθεση του μπετό βοηθάει στην προστασία του χάλυβα από την οξείδωση (σκουριά) και

γ. το μπετόν προσκολλάται αρκετά δυνατά πάνω στις χαλύβδινες ράβδους που χρησιμοποιούνται προς την όπλιση του.

Το αποτέλεσμα του συνδυασμού των δύο υλικών είναι αρκετά καλό σε αμφοτέρως θλιπτικές και εφελκυστικές δυνάμεις [6].

Το πλαίσιο στήριξης ολοκληρώνεται με την πρόσδεση, μέσω χαλύβδινων συρμάτων στους οπλισμούς, του νευρομετάλλ. Το νευρομετάλλ είναι ένα μεταλλικό πλέγμα (διάτρητη γαλβανιζέ λαμαρίνα [7]) που παράγεται από λαμαρίνα γαλβανισμένη εν θερμώ ή από λαμαρίνα ψυχρής ελάσεως που μετά την διαμόρφωσή της βάφεται με εμβάπτιση σε ασφαλικό χρώμα [8]. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μία σχάρα υποδοχής για το τσιμέντο, η οποία συντείνει και στην περαιτέρω μηχανική στήριξη αυτού σε ρόλο διαμήκους οπλισμού [4]. Ο κύριος λόγος χρήσης του νευρομετάλλ, όπως και του υαλοπλέγματος, συνίσταται στην ενίσχυση των εφελκυστικών αντοχών των επιχρισμάτων. Τα επιχρίσματα, το σκυρόδεμα και όλα τα τσιμεντομίγματα είναι «διαβόητα» για τη μικρή εφελκυστική τους αντοχή και την τάση τους για ρηγμάτωση. Τα επιχρίσματα πάνω από θερμομονωτικές στρώσεις, σημεία συνάντησης διαφορετικών υλικών (τούβλα – σενάζ, τούβλα – μπετόν, τούβλα- φελιζόλ, μπετόν – φελιζόλ, μπετόν – λάσπη που σκεπάζει κανάλια ηλεκτρολογικής εγκατάστασης [9]) κ.λ.π., χρειάζεται οπωσδήποτε να ενισχύονται με οπλισμούς όπως π.χ. αλκαλίμαχα υαλοπλέγματα ή νευρομετάλλ. Σε περιπτώσεις όπου το επίχρισμα είναι φέρον όπως π.χ. διακοσμητικές εφαρμογές, δημιουργία τεχνητής πέτρας, κοίλες κατασκευές, ψευδοροφές κ.λ.π. το υαλόπλεγμα δεν μπορεί να αντικαταστήσει το νευρομετάλλ [10]. Συνδυαστικά επομένως, επικουρείται και η αντοχή του σοβά, ενώ το μεταλλικό πλέγμα είναι γαλβανισμένο (επιψευδαργυρωμένο), ώστε να μην διαβρωθεί από τον ασβέστη που περιέχει ο σοβάς [9].

1.1.1. Η διάβρωση του σιδηροπλισμού στο οπλισμένο σκυρόδεμα

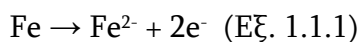
Στη συνηθισμένη περίπτωση το σκυρόδεμα αποτελεί ένα προστατευτικό περιβάλλον του σιδηροπλισμού για δύο λόγους:

- Το υδατικό διάλυμα των πόρων του μπετό είναι έντονα αλκαλικό, εξαιτίας της υδρασβέστου, προϊόν της αντίδρασης σκλήρυνσης του τσιμέντου, με pH 12,5 και 13,9. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, ο χάλυβας καλύπτεται επιφανειακά από ένα παθητικό στρώμα οξειδίων που παρεμποδίζει τη διάβρωση του. Η διάβρωσή περιορίζεται στη συντήρηση του παθητικού αυτού στρώματος, δράση εξαιρετικά αργή, που πρακτικά μπορεί να αμεληθεί.
- Το σκυρόδεμα αποτελεί ένα φυσικό εμπόδιο στην επαφή του οπλισμού με τα διάφορα διαβρωτικά αέρια (οξυγόνο, διοξείδιο του θείου κ.λ.π) και με ουσίες που συνεπικουρούν τη διάβρωση (άλατα χλωρίου κ.λ.π).

Με την πάροδο του χρόνου, όμως, το σκυρόδεμα μπορεί να χάσει την προστατευτική του ικανότητα (π.χ. λόγω ενανθράκωσης), το pH να κατέβει κάτω από 9, 0 ή η συγκέντρωση των χλωριόντων να γίνει επαρκής, ώστε να καταστρέψει το παθητικό στρώμα του χάλυβα, οπότε η διάβρωση του οπλισμού μπορεί να γίνει σημαντική. Η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα είναι μία ηλεκτροχημική δράση που λαμβάνει χώρα, όταν το μπετό έχει μια ηλεκτρική αγωγιμότητα λόγω της παρουσίας υγρασίας και ηλεκτρολυτών στους πόρους του [39].

Οι ηλεκτροχημικές δράσεις προϋποθέτουν την ύπαρξη ανόδου, όπου λαμβάνει χώρα η ανοδική δράση, την ύπαρξη καθόδου, όπου λαμβάνει χώρα η καθοδική δράση και την ύπαρξη ηλεκτρολύτη για τη μεταφορά των ιόντων· η διεξαγωγή, δε, των δράσεων αυτών πραγματοποιείται στη διεπιφάνεια μετάλλου – ηλεκτρολύτη.

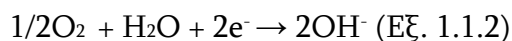
Η ανοδική δράση στην περίπτωση της διάβρωσης του οπλισμού του μπετό είναι η ανοδική διάλυση του σιδήρου. Η δράση αυτή είναι μία οξειδωτική δράση, συνυφασμένη με απόδοση ηλεκτρονίων, κατά το σχήμα:



Η ταχύτητα της δράσης αυτής εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Στην περίπτωση δημιουργίας παθητικού στρώματος είναι πολύ μικρή. Όταν, όμως, το pH αποκτήσει τιμές κάτω από 9, 0, η ταχύτητα αυξάνει σημαντικά. Το ίδιο συμβαίνει, όταν το παθητικό στρώμα καταστραφεί από την παρουσία ικανού ποσού χλωριόντων [39].

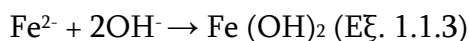
Η καθοδική δράση είναι συνυφασμένη με την πρόσληψη ηλεκτρονίων. Για να πραγματοποιηθεί, είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός οξειδωτικού μέσου.

Στην περίπτωση που εξετάζεται, το οξειδωτικό μέσο είναι το οξυγόνο. Το οξυγόνο μπορεί να προσλάβει ηλεκτρόνια προς σχηματισμό υδροξυλίων κατά το σχήμα:



Το οξυγόνο για να φθάσει στην επιφάνεια του σιδήρου, όπου είναι η κάθοδος, πρέπει να διαχυθεί μέσα από τους πόρους του σκυροδέματος.

Τα μεταλλοϊόντα από την ανοδική δράση και τα υδροξυλιόντα από την καθοδική δράση μετακινούνται μέσα στον ηλεκτρολύτη και τελικά αντιδρούν προς σχηματισμό στερεού προϊόντος κατά το σχήμα:



Το σχηματιζόμενο υδροξείδιο του σιδήρου με το υπάρχον οξυγόνο μετατρέπεται σε υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Ανάλογα με το είδος του ηλεκτρολύτη ο σχηματισμός του υδροξειδίου πραγματοποιείται στην επιφάνεια του σιδήρου ή μακρύτερα. Ακόμη, σε εξάρτηση με το είδος του ηλεκτρολύτη και τις αλλαγές της σύστασής του, μπορεί να σχηματισθούν και άλλα είδη προϊόντων π.χ. μικτά οξείδια – υδροξείδια κ.λ.π.

Ο ίδιος ο σιδηροπλισμός παίζει το ρόλο του αγωγού σύνδεσης ανοδικών – καθοδικών περιοχών, με ένα μέρος της επιφάνειάς του να συμπεριφέρεται σαν άνοδος και ένα άλλο μέρος σαν κάθοδος. Η συμπεριφορά αυτή του χάλυβα συνίσταται στη δημιουργία τοπικών γαλβανικών στοιχείων [39].

Ένα κράμα, όπως είναι ο δομικός χάλυβας, από τη διαδικασία παραγωγής του αποτελεί πηγή σχηματισμού τοπικών γαλβανικών στοιχείων. Ανομοιομορφίες μικρής κλίμακας σε σύσταση (π.χ. οξειδίων στην επιφάνεια), καθώς και ανωμαλίες στην επιφάνεια οδηγούν στη δημιουργία μικρής κλίμακας γαλβανικών στοιχείων, τα οποία ονομάζονται τοπικά γαλβανικά στοιχεία. Τα τοπικά γαλβανικά στοιχεία μπορεί να έχουν διαφορετική ένταση, όπως στα τοπικά γαλβανικά στοιχεία από διαφορά στη σύσταση του κράματος, ανάλογη με τη διαφορά, πράγμα που έχει άμεση επίδραση στο ηλεκτρικό δυναμικό που παρουσιάζουν σε σχέση με τη γειτονική περιοχή. Οι διαφορές αυτές δυναμικού είναι της τάξης μερικών δεκάδων mV [39].

Σε αντίθεση με τα τοπικά γαλβανικά στοιχεία, τα οποία είναι αποτέλεσμα μόνον της παραγωγικής διαδικασίας του χάλυβα, δημιουργούνται και μακροσκοπικά γαλβανικά στοιχεία, τα οποία εμφανίζονται σε μεγάλες περιοχές του μετάλλου και οφείλονται στην όλη συγκρότηση του οπλισμένου μπετό και όχι μόνο στο χάλυβα.

Έτσι, μακροσκοπικά γαλβανικά στοιχεία σχηματίζονται σε περιπτώσεις:

- συνύπαρξης διαφορετικών μετάλλων στη μάζα του μπετό,
- συνύπαρξης μίας καλά αεριζόμενης περιοχής με μία μη αεριζόμενη,
- συνύπαρξης μίας περιοχής χαμηλού pH με μία υψηλού pH,
- συνύπαρξης μίας περιοχής με υψηλή περιεκτικότητα χλωριόντων με μία χαμηλής συγκέντρωσης χλωριόντων
- συνύπαρξης μίας βρεγμένης περιοχής με μία στεγνή.

Τα μακροσκοπικά γαλβανικά στοιχεία παρουσιάζουν δυναμικό που μπορεί να φτάσει και την τάξη εκατοντάδων mV. Επιπλέον και λόγω της μεγάλης τους

έκτασης, η επίδρασή τους στη διάβρωση είναι σημαντική, καθώς και προσθετική σε αυτή των τοπικών γαλβανικών στοιχείων [39].

Οι βασικές προϋποθέσεις που χρειάζεται να πληρούνται, ώστε να καταστεί δυνατή η διάβρωση του σιδηροπλισμού είναι οι εξής τρεις:

- ανοδική διάλυση του σιδήρου,
- παρουσία οξυγόνου,
- ηλεκτρική αγωγιμότητα του μπετό μέσω του υγρού των πόρων.

Τη διάβρωση του χάλυβα, κι αυτό καταλύοντας τη διάχυση του οξυγόνου κι άλλων διαβρωτικών αερίων στη μάζα του μπετό, άρα και στην επιφάνεια του χάλυβα, επηρεάζουν ακόμη κι οι ακόλουθοι παράγοντες:

- το είδος και η δομή του σκυροδέματος,
- η κάλυψη του σπλισμού από το σκυρόδεμα,
- η ποσότητα του νερού στο σκυρόδεμα,
- η ύπαρξη ρωγμών στο σκυρόδεμα.

Οι επιπτώσεις διάβρωσης του σιδηροπλισμού του σκυροδέματος είναι:

- η μείωση της διατομής του σπλισμού, με περαιτέρω επιπτώσεις στη στατική ικανότητα της κατασκευής,
- η δημιουργία ρωγμών, όταν παρεμποδίζεται η ανάπτυξη των, μεγαλύτερου μοριακού όγκου από το σίδηρο, προϊόντων διάβρωσης [39].

1.1.1.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση του σιδηροπλισμού στο σκυρόδεμα

A) Το είδος και η δομή του σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα είναι ένα πορώδες υγροσκοπικό υλικό. Το συνδετικό υλικό του σκυροδέματος, το τσιμέντο, κατά την ενυδάτωσή του σχηματίζει ένα ζελέ με πόρους διαφόρων διαμέτρων. Οι πόροι αυτοί ανάλογα με την κατάσταση του περιβάλλοντος μπορεί να είναι στεγνοί ή γεμάτοι με νερό. Στη δεύτερη περίπτωση το νερό των πόρων είναι ένα υδατικό διάλυμα. Το διάλυμα αυτό περιέχει υδροξείδιο του ασβεστίου, που σχηματίζεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου, καθώς και μικρότερα ποσά υδροξειδίου του καλίου και του νατρίου. Το διάλυμα αυτό έχει pH 12,6 – 13,9 και σχηματίζει στην επιφάνεια του χάλυβα παθητικό προστατευτικό οξείδιο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Η διατήρηση της αλκαλικότητας, άρα και της προστατευτικής επίδρασής της στο χάλυβα εξαρτάται από:

- την ποσότητα και το είδος του τσιμέντου,
- το λόγο νερού προς τσιμέντο,
- το είδος και την κοκκομετρία των αδρανών,
- το χρόνο συντήρησης.

Το είδος του τσιμέντου είναι σημαντικός παράγοντας στη διάβρωση του σιδηροπλισμού. Τσιμέντο ανθεκτικό σε θειικά σε περιβάλλον με χλωριόντα επιταχύνει τη διάβρωση, ενώ τσιμέντα που περιέχουν φυσικές ή τεχνητές

ποζολάνες την επιβραδύνουν, τόσο παρουσιάζοντας μικρότερο πορώδες σε σχέση με το τσιμέντο Πόρτλαντ σε όλους τους χρόνους έκθεσης στον αέρα, όσο και δεσμεύοντας χλωριόντα λόγω της περιεκτικότητάς τους σε Al_2O_3 .

Όσον αφορά στην επίδραση του λόγου νερού/τσιμέντου, όσο αυτός αυξάνει, τόσο αυξάνονται το πορώδες και η διάβρωση του σιδηροπλισμού, ενώ όσον αφορά στο χρόνο συντήρησης συμβαίνει το αντίθετο.

Τέλος, και σχετικά με το είδος και την κοκκομετρία των αδρανών, εάν τα αδρανή είναι συμπαγή (χωρίς πόρους), τότε η διέλευση των διαβρωτικών συστατικών πραγματοποιείται μόνο μέσα από τους πόρους του ζελέ του τσιμέντου, ενώ στην αντίθετη περίπτωση πραγματοποιείται και μέσα από τους πόρους των αδρανών, με αποτέλεσμα η διάβρωση να είναι μεγαλύτερη [39].

B) Πάχος επικάλυψης

Τα διαβρωτικά συστατικά από το περιβάλλον, πρέπει να διαπεράσουν την επικάλυψη του σκυροδέματος και να φθάσουν στην επιφάνεια του οπλισμού. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος επικάλυψης, τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται, θεωρώντας πως τα άλλα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος παραμένουν σταθερά, για να φθάσουν τα διαβρωτικά συστατικά, μέσω διάχυσης, στον οπλισμό.

Επομένως, όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες του σκυροδέματος, τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι το πάχος της επικάλυψης του οπλισμού από το μπετό, για δεδομένο βαθμό προστασίας αυτού [39].

Γ) Η παρουσία νερού στο σκυρόδεμα

Το νερό στους πόρους του σκυροδέματος ρυθμίζει τη μεταφορά των διαφόρων ιόντων ή αερίων στο εσωτερικό του σκυροδέματος, αλλά και την ηλεκτρική αντίσταση του μπετό.

Η επίδραση του νερού στην ηλεκτρική αντίσταση και στη μεταφορά του οξυγόνου, και γενικότερα των αερίων, είναι αντίστροφη. Το κορεσμένο με νερό μπετό έχει τη μικρότερη ηλεκτρική αντίσταση, ταυτόχρονα, όμως, παρεμποδίζει την απευθείας είσοδο του οξυγόνου. Στο κορεσμένο με νερό μπετό μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο διάχυση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου που είναι μικρή. Αντίθετα, στο ξηρό σκυρόδεμα, η μεταφορά του οξυγόνου μέσα από τους άδειους πόρους είναι σημαντική. Όμως, η ηλεκτρική αντίσταση του ξηρού σκυροδέματος είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα το ρεύμα μεταξύ των πόλων του γαλβανικού στοιχείου διάβρωσης να είναι πολύ μικρό [39].

Επομένως, ο κίνδυνος διάβρωσης σε ξηρό και κορεσμένο σε νερό σκυρόδεμα είναι μικρός, ενώ στις ενδιάμεσες περιπτώσεις γίνεται μεγαλύτερος.

Η ποσότητα του νερού στο σκυρόδεμα εξαρτάται από:

- την υγρασία στην επιφάνεια του σκυροδέματος.
- τη δυνατότητα μεταφοράς του νερού στο εσωτερικό του σκυροδέματος.
- την προϊστορία του σκυροδέματος κατά την πήξη και συντήρηση.

Η υγρασία στην επιφάνεια του σκυροδέματος μεταβάλλεται. Μετά από παρατεταμένη βροχή η σχετική υγρασία είναι 100%, ενώ τις θερμές – ξηρές μέρες είναι σημαντικά μικρότερη. Ακόμη εξαρτάται από την τοποθεσία της κατασκευής, με τη μεγαλύτερη να επικρατεί στα παράλια, και από το εάν το σκυρόδεμα είναι ή όχι προστατευμένο από τη βροχή [39].

Δ) Η παρουσία ρωγμών

Οι ρωγμές αποτελούν προτιμησιακά μονοπάτια για τη δίοδο των διαβρωτικών ουσιών του περιβάλλοντος, επιταχύνοντας τη διάχυσή τους, στο εσωτερικό του σκυροδέματος. Η διείσδυση των διαβρωτικών συστατικών του περιβάλλοντος θα είναι τόσο ταχύτερη, όσο μεγαλύτερο θα είναι το πλάτος και το βάθος των ρωγμών.

Εάν οι ρωγμές φθάσουν στην επιφάνεια του οπλισμού, τότε υπάρχουν όλες οι προϋποθέσεις για τη διάβρωση του. Σε γενικές γραμμές είναι δυνατόν να διακριθούν δύο περιπτώσεις διάβρωσης:

- η διάβρωση (ιδιοδιάβρωση) του οπλισμού στη ρωγμή.
- η διάβρωση του οπλισμού με σχηματισμό γαλβανικού στοιχείου, μεταξύ του τμήματος του οπλισμού στη ρωγμή και του τμήματος του οπλισμού στο σκυρόδεμα [39].

Σε περίπτωση ύπαρξης διαφορετικού πλάτους ρωγμών στο σκυρόδεμα μπορεί να συνυπάρχουν και οι δύο τύποι διάβρωσης του οπλισμού [39].

Για να είναι δυνατή η ύπαρξη της ιδιοδιάβρωσης του οπλισμού πρέπει το πλάτος της ρωγμής να είναι μεγάλο και η κάλυψη του οπλισμού να έχει αρκετό πάχος. Λόγω του μεγάλου πλάτους της ρωγμής στην επιφάνεια του οπλισμού, που βρίσκεται χωρίς κάλυψη σκυροδέματος, δημιουργείται ένα τοπικό γαλβανικό στοιχείο. Στο κέντρο του πυθμένα της ρωγμής υπάρχει η άνοδος του τοπικού γαλβανικού στοιχείου, όπου ο σίδηρος διαλύεται ανοδικά προς σχηματισμό του ιόντος Fe^{2+} . Η γύρω περιοχή αποτελεί την κάθοδο, όπου το οξυγόνο με την παρουσία του νερού σχηματίζει το OH^- . Με την πάροδο του χρόνου δημιουργείται εσοχή στο κέντρο του αποκαλυφθέντος οπλισμού, ενώ ταυτόχρονα δημιουργείται οξείδιο του σιδήρου, που γεμίζει το βάθος της ρωγμής. Εάν το προϊόν αυτό της διάβρωσης είναι συμπαγές, τότε μπορεί να καθυστερήσει την προώθηση της διάβρωσης. Στην εξέλιξη αυτή βοηθούν η μικρή σχετικά τάση του τοπικού γαλβανικού στοιχείου και η χαμηλή σχετική υγρασία. Εάν η τάση του τοπικού γαλβανικού στοιχείου είναι σχετικά μεγάλη και η υγρασία υψηλή, το στρώμα των προϊόντων της διάβρωσης είναι πορώδες και η διάβρωση συνεχίζεται κάτω από το στρώμα των οξειδίων [39].

Εάν το πλάτος της ρωγμής είναι σχετικά μικρό και η κάλυψη του οπλισμού από το σκυρόδεμα έχει μικρό πάχος ή το σκυρόδεμα είναι πορώδες, τότε δημιουργείται ένα γαλβανικό μακροστοιχείο. Η άνοδος του γαλβανικού μακροστοιχείου είναι η περιοχή του οπλισμού που βρίσκεται ακάλυπτος στη ρωγμή. Κάθοδος του γαλβανικού στοιχείου είναι η περιοχή του οπλισμού που είναι καλυμμένη από σκυρόδεμα γύρω από τη ρωγμή. Και στην περίπτωση αυτή

δημιουργούνται προϊόντα διάβρωσης στον πυθμένα της ρωγμής και σιγά – σιγά τη γεμίζουν, καθώς ισχύουν όσα αναφέρθηκαν για την περίπτωση της ιδιοδιάβρωσης [39].

1.1.2. Αλληλεπίδραση σιδηροπλισμού – γαλβανιζέ πλέγματος

Η αλληλεπίδραση του σιδηροπλισμού με το γαλβανιζέ πλέγμα (νευρομετάλλ) έγκειται στη δημιουργία μακροσκοπικού γαλβανικού στοιχείου, αφού υπάγεται στις περιπτώσεις σχηματισμού μακροσκοπικών γαλβανικών στοιχείων και μάλιστα ταυτίζεται με αυτή της συνύπαρξης διαφορετικών μετάλλων. Ο κοινός δομικός χάλυβας σε επαφή με το γαλβανιζέ (επιψευδαργυρωμένο) χάλυβα του πλέγματος συνιστούν ένα μακροσκοπικό γαλβανικό στοιχείο, το οποίο επιτείνει τη διαβρωτική δράση των τοπικών γαλβανικών στοιχείων [39].

1.2. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Κονιάματα είναι μίγματα μίας ή περισσότερων συνδετικών υλών (κονιών), νερού, λεπτόκοκκων αδρανών (< 4mm) και ενδεχομένως ειδικών προσθέτων, τα οποία έχουν αξιόλογη ρευστότητα και πλαστικότητα όταν είναι νωπά, αποκτούν δε μετά την πήξη και σκλήρυνση της συνδετικής ύλης, μηχανική αντοχή και άλλες φυσικές και χημικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου κονιάματος εξαρτώνται από το είδος και τις αναλογίες των πρώτων υλών, από τον τρόπο ανάμιξης και μορφοποίησης και από τις συνθήκες που επικρατούν και εφαρμόζονται κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης [14]. Ο βασικός φορέας της αντοχής του κονιάματος είναι τα αδρανή, ενώ οι κονίες αποτελούν το συνδετικό υλικό.

Τα χρησιμοποιούμενα αδρανή είναι συνήθως άμμος με μέγιστη διάμετρο κόκκου 4 mm. Η περιεκτικότητά τους σε λεπτούς κόκκους με διάμετρο $d < 0,2$ mm πρέπει να είναι 20% – 25% κατά βάρος [15]. Εάν το κλάσμα αυτό αντιπροσωπεύει ποσοστό μικρότερο του 10%, τότε θα υπάρχουν κενά και τότε θα πρέπει να προστεθεί κονία για να βελτιωθεί η εργασιμότητα. Αυξημένο όμως ποσοστό κονιάς θα οδηγήσει σε ρωγμές λόγω της αυξημένης συστολής ξήρανσης. Όταν όμως υπάρχουν αδρανή υλικά με αυξημένο λεπτόκοκκο κλάσμα (παιπάλη), δηλαδή με μέγεθος κόκκου μικρότερο των 63 μm), σε ποσοστό μεγαλύτερο του 5%, τότε δημιουργείται έντονο πρόβλημα καθόσον καλύπτονται οι κόκκοι του αδρανούς και εμποδίζεται η ένωση του με τον πολτό [14]. Έτσι τα αδρανή υλικά πρέπει να έχουν τέτοια κοκκομετρική διαβάθμιση, ώστε ο όγκος των κενών, τα οποία σχηματίζονται μεταξύ των κόκκων τους, να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος.

Το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του κονιάματος πρέπει να είναι καθαρό [15].

1.2.1. Τσιμεντοκονίαμα

Το τσιμεντοκονίαμα είναι ένα κονίαμα στο οποίο ως κονία χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι και ποσότητες τσιμέντου. Παρουσιάζει έντονες υδραυλικές ιδιότητες και αυξημένες αντοχές και χρησιμοποιείται για τη δόμηση στοιχείων που υποβάλλονται σε ισχυρές καταπονήσεις, καθώς και για επιχρίσματα. Οι ιδιότητές του εξαρτώνται κυρίως από το είδος και την ποσότητα του τσιμέντου και από το συντελεστή νερού – τσιμέντου (w/c).

Το τσιμεντοκονίαμα πρέπει να έχει αυξημένη πλαστικότητα και ελαστικότητα, ώστε η πρόσφυσή του να είναι ισχυρή, να μην παρουσιάζει ρηγματώσεις και να εξασφαλίζει πλήρη στεγανότητα.

Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη στο τσιμεντοκονίαμα μικρής ποσότητας υδράσβεστου με τη μορφή πολτού ή σκόνης, χωρίς να μειώνεται η περιεκτικότητα του τσιμέντου [15].

1.2.1.1. Τσιμέντο

Τσιμέντο είναι μία υδραυλική κονία, δηλαδή ένα λεπτοαλεσμένο ανόργανο υλικό, το οποίο, όταν αναμιχθεί με νερό, σχηματίζει μία πάστα που, λόγω των αντιδράσεων ενυδάτωσης, πήζει και σκληρύνεται έχοντας έκτοτε την ικανότητα να διατηρεί τις αντοχές της, ακόμα και κάτω από το νερό. Η, με διαφορά κυρίως λόγω της εξάπλωσης του και των τεράστιων καταναλισκόμενων ποσοτήτων, σπουδαιότερη υδραυλική κονία είναι το τσιμέντο Πόρτλαντ [13].

1.2.1.2. Χημική σύσταση τσιμέντου Πόρτλαντ

Ως τσιμέντο Πόρτλαντ ορίζεται το προϊόν που προκύπτει μετά από έψηση σε θερμοκρασία κλινκεροποίησης (1380-1420 °C) ενός κατάλληλα αλεσμένου και πλήρως ομογενοποιημένου μίγματος που αποτελείται περίπου από 75% ασβεστολιθικά υλικά και 25% αργυλοπυριτικά υλικά και συνάλεση του προκύπτοντος προϊόντος που καλείται κλίνκερ με την κατάλληλη ποσότητα γύψου. Το τσιμέντο συνίσταται από τα κύρια από τα κύρια συστατικά του, τα δευτερεύοντα συστατικά του, το θειικό ασβέστιο και τα πρόσθετα.

Το δεσπόζοντα ρόλο στα κύρια συστατικά τον έχει το κλίνκερ. Οι ενώσεις – δομικοί λίθοι του κλίνκερ είναι: CaO, MgO, P₂O₅, Al₂O₃, H₂O, TiO₂, SiO₂, Na₂O, SO₃, Fe₂O₃, K₂O και CO₂, ενώ η δυνατότητα σχηματισμού συμπλεγμάτων οξειδίων μεταξύ των προαναφερθέντων, μόνον ως σκιαγράφηση, μπορεί να νοηθεί, της πραγματικής σύστασης του κλίνκερ [13].

Εκτός του κλίνκερ, ως κύρια συστατικά, χρησιμοποιούνται η κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων, διάφορα φυσικά ποζολανικά υλικά ή φυσικά ψημένα, διάφορες πυριτικές ή ασβεστούχες τέφρες, burnt shale, ασβεστόλιθος και silica fume.

Ως δευτερεύοντα συστατικά νοούνται τα κύρια συστατικά, εκτός του κλίνκερ, σε ποσοστό ενσωμάτωσής τους έως 5% και τα fillers, ειδικά επιλεγμένα φυσικά ή

τεχνητά ανόργανα ορυκτά υλικά τα οποία, μετά από κατάλληλη προετοιμασία (διαμόρφωση κοκκομετρικής κατανομής), βελτιώνουν φυσικές ιδιότητες του τσιμέντου (π.χ. εργασιμότητα) [13].

Το θειικό ασβέστιο προστίθεται με σκοπό να ρυθμίσει την πήξη του τσιμέντου. Το ποσοστό προσθήκης του κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5% του βάρους του κλίνκερ. Το θειικό ασβέστιο μπορεί να προστεθεί κυρίως ως γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: διένυδρο θειικό ασβέστιο), που είναι και η περισσότερο συνηθισμένη μορφή του, καθώς επίσης και ως ημιυδρικό θειικό ασβέστιο ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) ή ως ανυδρίτης (CaSO_4) που πολλές φορές προκύπτει ως παραπροϊόν διαφόρων βιομηχανικών διαδικασιών.

Τέλος, ως πρόσθετα νοούνται τα συστατικά που δε συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία των δευτερευόντων και τα οποία σκοπό έχουν να βελτιώσουν είτε την παραγωγική διαδικασία (π.χ. τριαιθανολαμίνη ως βελτιωτικό άλεσης) είτε τις ιδιότητες του τσιμέντου [13].

1.2.1.3. Ενυδάτωση τσιμέντου Πόρτλαντ

Στη χημεία τσιμέντου, ο όρος 'ενυδάτωση' υποδηλώνει το σύνολο των αλλαγών που πραγματοποιούνται, όταν άνυδρο τσιμέντο, ή κάποιο από τα συστατικά του, αναμιγνύεται με νερό. Η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι μία διαδικασία περισσότερο πολύπλοκη από την απλή μετατροπή ανύδρων ενώσεων στις αντίστοιχες ενυδατωμένες και περιλαμβάνει ένα σύνολο χημικών και φυσικομηχανικών μεταβολών που έχουν ως αποτέλεσμα την πήξη και σκλήρυνση του συστήματος τσιμέντο – νερό [13].

Μερική ενυδάτωση του τσιμέντου μπορεί να προκαλέσει ακόμα και η αυξημένη υγρασία του χώρου, αλλά για πλήρη ενυδάτωση απαιτείται η ανάμιξη με ικανή ποσότητα νερού. Ο λόγος νερού προς τσιμέντο (water/cement ή w/c) καθορίζει τη ρεολογία του μίγματος, την πορεία της ενυδάτωσης (για δεδομένο τσιμέντο και σταθερή θερμοκρασία, ο ρυθμός ενυδάτωσης αυξάνει με το λόγο νερού/τσιμέντου) και τις ιδιότητες του ενυδατωμένου υλικού και κυμαίνεται συνήθως από 0.3 έως 0.6. Μίγμα νερού – τσιμέντου στις παραπάνω αναλογίες καλείται 'πάστα τσιμέντου' και με την πρόοδο της ενυδάτωσης παρουσιάζει πήξη και σκλήρυνση.

Ο υδραυλικός χαρακτήρας του τσιμέντου Πόρτλαντ αποδίδεται κυρίως στα προϊόντα ενυδάτωσης του πυριτικού διασβεστίου και του πυριτικού τριασβεστίου που είναι τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά του κλίνκερ, αποτελώντας τα 2/3 της μάζας του, και δευτερευόντως στα προϊόντα ενυδάτωσης των δύο άλλων συστατικών του που είναι το αργλικό τριασβέστιο και το σιδηραργλικό τετρασβέστιο [13].

1.2.1.4. Πήξη τσιμέντου Πόρτλαντ

Η πήξη δηλώνει τη σταδιακή απώλεια της πλαστικότητας και της εργασιμότητας της πάστας, χωρίς την ανάπτυξη αξιόλογων αντοχών, και ολοκληρώνεται τις

πρώτες ώρες μετά την ανάμιξη τσιμέντου – νερού. Κατά την ανάμιξη τσιμέντου και νερού σε κατάλληλες αναλογίες (w/c: 0.3 – 0.6) σχηματίζεται ένα ομοιογενές αιώρημα κόκκων τσιμέντου στο νερό, το οποίο έχει ρεολογικές ιδιότητες που εξαρτώνται από το λόγο w/c, τη λεπτότητα και τη σύσταση του τσιμέντου. Μετά από μερικά λεπτά, οι κόκκοι αρχίζουν να συσσωματώνονται, παγιδεύοντας μέρος του νερού και προκαλώντας αύξηση του ιξώδους της πάστας. Πριν την πήξη, η διαδικασία αυτή είναι αντιστρεπτή και η πάστα μπορεί να αποκτήσει την προηγούμενη ρευστότητα της, μετά από νέα ανάμιξη. Το ιξώδες της πάστας αυξάνεται επίσης, εξαιτίας του σχηματισμού των προϊόντων ενυδάτωσης, ο οποίος προκαλεί μείωση του λόγου: στερεό/υγρό [13].

Καθώς η ενυδάτωση επιταχύνεται, η ποσότητα των ενυδατωμένων προϊόντων αυξάνεται και ο όγκος της υγρής φάσης μειώνεται. Συγχρόνως, σχηματίζονται δεσμοί μεταξύ των κόκκων του τσιμέντου, οι οποίοι καλύπτονται από φιλμ ένυδρων ενώσεων. Με την πάροδο του χρόνου, οι δεσμοί αυτοί σχηματίζουν ένα τρισδιάστατο πλέγμα που προκαλεί την πήξη της πάστας. Αμέσως μετά την πήξη, ο αριθμός των δεσμών είναι ακόμη μικρός και το πλέγμα μπορεί να σπάσει εύκολα, υπό την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων. Καθώς η ενυδάτωση προχωρά, οι δεσμοί αυξάνονται και η πάστα σκληραίνει, με παράλληλη ανάπτυξη των αντοχών [13].

1.2.1.5. Ανάπτυξη αντοχών τσιμέντου Πόρτλαντ

Οι αντοχές του τσιμέντου οφείλονται στο σχηματισμό ενός συνεχούς, τρισδιάστατου πλέγματος ενυδατωμένων προϊόντων, το οποίο μπορεί να απορροφάει εξωτερικές δυνάμεις, χωρίς να αποσαθρώνεται. Γενικά, οι πάστες τσιμέντου, θεωρείται ότι αποτελούνται από τρεις φάσεις, τις ενυδατωμένες ενώσεις, τα άνυδρα συστατικά του τσιμέντου και τους πόρους. Οι ενυδατωμένες ενώσεις είναι υπεύθυνες για την ανάπτυξη των αντοχών, ενώ τα άνυδρα συστατικά δρουν κυρίως ως πληρωτικό υλικό. Για δεδομένο πορώδες πάστας, οι αντοχές αυξάνονται, καθώς αυξάνεται ο βαθμός ενυδάτωσης. Το πορώδες της πάστας έχει ισχυρή επίδραση στην ανάπτυξη των αντοχών, με τους μεγαλύτερους πόρους να αποτελούν και τους πιο επιζήμιους. Παράμετρο χειρισμού του πορώδους της πάστας συνιστά ο λόγος νερού/τσιμέντου. Για συγκεκριμένο βαθμό ενυδάτωσης, η ελάττωση του λόγου νερού/τσιμέντου προκαλεί αύξηση των αντοχών [13].

1.2.1.6. Ενανθράκωση σκυροδέματος

Η ενανθράκωση του σκυροδέματος προκαλείται από τη χημική αντίδραση του CO₂ που υπάρχει στην ατμόσφαιρα, με το Ca(OH)₂ του σκυροδέματος:



Για να πραγματοποιηθεί αυτή η αντίδραση απαιτείται μικρή ποσότητα νερού. Το μεγαλύτερο ποσοστό ενανθράκωσης παρατηρείται σε αέρα με σχετική υγρασία 50 – 70%. Σε ξηρό σκυρόδεμα δεν πραγματοποιείται ενανθράκωση, γιατί δε μπορεί να συμβεί διάχυση, ενώ σε κορεσμένο με νερό σκυρόδεμα εμποδίζεται η διάχυσή του στους πόρους του. Το νερό που παράγεται από την αντίδραση διαχέεται στο εσωτερικό του μπετό και η ενανθράκωση συνεχίζεται σε μεγαλύτερα βάθη [41].

Η περιορισμένη ενανθράκωση θεωρείται ευεργετική για το σκυρόδεμα καθεαυτό, ειδικά όταν το CO₂ προέρχεται από την ατμόσφαιρα, καθώς το αδιάλυτο σχηματιζόμενο ανθρακικό ασβέστιο πληρώνει τους πόρους και τις μικρορωγμές του σκυροδέματος [39], μειώνοντας το πορώδες του και αυξάνοντας την θλιπτική του αντοχή. Στις αστικές και βιομηχανικές περιοχές, που έχουν υψηλά ποσοστά CO₂, η ενανθράκωση αποτελεί τον κυρίαρχο μηχανισμό απαξίωσης του οπλισμένου σκυροδέματος, ενώ σε παραθαλάσσιες περιοχές η συνεργιστική δράση της με αυτή των χλωριόντων μπορεί να είναι καταταγιστική.

Τέλος, το μικρό πάχος επικάλυψης του σιδηροπλισμού και η παρουσία ρωγμών του σκυροδέματος συνιστούν επιπλέον ευνοϊκούς παράγοντες για τη διεργασία της ενανθράκωσης [41].

1.2.1.7. Ρηγμάτωση και είδη ρωγμών οπλισμένου σκυροδέματος

Η ρηγμάτωση είναι σύμφυτη με τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, λόγω της μικρής εφελκυστικής του αντοχής. Αν και τα αίτια ρηγμάτωσης του σκυροδέματος είναι ποικίλα, τα βασικότερα είδη ρωγμών είναι τα εξής [42, 43]:

- Πλαστικές ρωγμές διακένωσης

Οι πλαστικές ρωγμές διακένωσης εμφανίζονται περίπου μέσα σε μια ώρα (ή και σε περισσότερο από μία ώρα, εάν χρησιμοποιούνται επιβραδυντές πήξεως) από την στιγμή που θα τοποθετηθεί το μπετό μέσα στο καλούπι. Οι πλαστικές ρωγμές διακένωσης αρχίζουν να δημιουργούνται από την εκτεθειμένη (στις καιρικές συνθήκες) επιφάνεια του σκυροδέματος, όπου η εξάτμιση του νερού της επιφάνειας γίνεται γρηγορότερα από τον χρόνο πήξεως του σκυροδέματος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλείται συστολή του εξωτερικού στρώματος του σκυροδέματος και να δημιουργούνται οι ρωγμές. Το σκυρόδεμα έχει μία πλαστικότητα, η οποία όταν είναι ανίκανη να παραλάβει τις φορτίσεις που δημιουργούνται, το σκυρόδεμα ανακουφίζεται με το ράγισμα.

- Ρωγμές λόγω διάβρωσης του σιδηροπλισμού

Δεδομένου ότι το προϊόν διάβρωσης του σιδηροπλισμού, η σκουριά, καταλαμβάνει πολύ περισσότερο όγκο από το βασικό μέταλλο, η διαδικασία δημιουργεί την ακτινωτή επεκτατική πίεση στο περιβάλλον του σκυροδέματος και το σπάσιμο, που διαμορφώνει μια γραμμή ρωγμής.

- Ρωγμές λόγω συστολής Ξήρανσης του σκυροδέματος

Ο κορεσμένος με νερό τσιμεντοπολτός, σε συνθήκες υγρασίας, υφίσταται απώλεια νερού και συστέλλεται, με συνέπεια την πρόκληση ρηγματώσεων.

- Ρωγμές λόγω αυξημένων εξωτερικών φορτίων

Περαιτέρω αύξηση της εξωτερικής φόρτισης από τα προβλεπόμενα όρια οδηγεί στη δημιουργία ρωγμών.

1.2.2. Επιχρίσματα

Τα επιχρίσματα (σοβάς) ανήκουν στα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα· στα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιούνται ως κόνιες άσβεστος και τσιμέντο.

Παρουσιάζουν υδραυλικές ικανότητες και μειωμένη υδατοπερατότητα.

Επίσης, είναι ανθεκτικότερα και παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή στις καταπονήσεις από τα καθαρά ασβεστοκονιάματα. Στα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα ως αδρανές υλικό χρησιμοποιείται η άμμος και ως τσιμέντο γκρι ή λευκό [15].

Ο σοβάς χρησιμοποιείται ευρέως στις κατασκευές, διότι παρέχει τα εξής θετικά χαρακτηριστικά [16]:

α) μόνωση: η λεπτή αυτή στρώση του σοβά μονώνει τους τοίχους από τούβλο, τις κολώνες και τα δοκάρια του σκελετού (από μπετό), από μεταβολές της θερμοκρασίας, από την υγρασία και από εξωτερικούς θορύβους.

Παρόλο που οι μονωτικές ιδιότητες του σοβά για καθένα από τα τρία παραπάνω είναι μικρές, δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να θεωρηθούν αμελητέες, όταν προστίθενται και τα τρία μαζί. Έτσι μπορεί να ειπωθεί, ότι ο σοβάς συμβάλλει στην καλύτερη μόνωση της κατασκευής.

β) προστασία: ο σοβάς παρέχει ένα επιπλέον στρώμα προστασίας ειδικά στο σκυρόδεμα. Αν και υπάρχουν και ανεπίχριστα σκυροδέματα, δε μπορεί να αμφισβητηθεί το γεγονός ότι αυτή η επιπλέον στρώση κονιάματος, προσθέτει ένα βαθμό προστασίας, αφού στην περίπτωση του επιχρισμένου σκυροδέματος, το τελευταίο δε θίγεται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες.

Επιπλέον παρέχει και μία αρκετά σημαντική πυροπροστασία σε ό, τι καλύπτει.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός μεταλλικού σκελετού, ο σοβάς θα αποτελέσει την πρώτη γραμμή αντίστασης έναντι της καταστροφικής δύναμης της φωτιάς.

γ) αισθητική: συνδυαζόμενο και με τα παραπάνω, το σοβάτισμα είναι πιθανώς ο οικονομικότερος τρόπος προς μία λεία και ομοιόμορφη εμφάνιση στο εξωτερικό και εσωτερικό της κατασκευής. Ο σοβάς διαστρώνεται, ώστε να δώσει μία επίπεδη και λεία τελική επιφάνεια, καλύπτοντας όλες τις ανωμαλίες του σκυροδέματος ή των τούβλων, καθώς και όλες τις κακοτεχνίες, που είναι αναπόφευκτο να απουσιάζουν τελείως από μία κατασκευή.

1.2.2.1. Στρώσεις επιχρίσματος

Η διάστρωση του επιχρίσματος (σοβά) γίνεται συνήθως σε τρεις φάσεις (εξωτερικό επίχρισμα τριών στρώσεων) [34]: πεταχτό, λάσπωμα και μάρμαρο, ενώ μπορεί να γίνει με το χέρι ή με ειδική αντλία (πρέσα) που το εκτοξεύει πάνω στη σοβατιζόμενη επιφάνεια. Το συνολικό πάχος των τριών στρώσεων πρέπει να είναι 2 έως 3 εκατοστά για τους τοίχους και οπωσδήποτε λιγότερο για τα ταβάνια. Το λάσπωμα είναι το παχύτερο από τα τρία στρώματα.

Αναλυτικά οι τρεις φάσεις του σοβατίσματος είναι [16]:

α) το πεταχτό

Το πεταχτό, όπως δηλώνει και το όνομά του, δεν λειαίνεται καθόλου και δεν χρειάζεται να έχει μεγάλο πάχος, γιατί σκοπός του είναι να αφήσει ένα τραχύ υπόστρωμα το οποίο θα προσφέρει ισχυρή πρόσφυση για το επόμενο στρώμα, που είναι και το βασικό στρώμα του σοβά, το λάσπωμα.

β) το λάσπωμα

Το λάσπωμα, που είναι και η παχύτερη από τις τρεις στρώσεις, γίνεται γεμίζοντας την επιφάνεια με σοβά και ακολούθως επιπεδώνοντας την επιφάνεια αυτή, με τη χρήση μίας φαρδιάς πήξης, την οποία ο τεχνίτης διατρέχει πάνω στην σοβατιζόμενη επιφάνεια. Τέλος, στην επιφάνεια του σοβά χαράσσονται κυματιστές γραμμές (συνήθως με μία μεγάλη χτένα), ώστε να βελτιωθεί η πρόσφυση της επόμενης στρώσης.

γ) το μάρμαρο

Η τελευταία στρώση του σοβά είναι το μάρμαρο. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα δύο στρώματα, αντί για άμμο συνήθως χρησιμοποιείται μαρμαρόσκονη και αντί για γκρι τσιμέντο χρησιμοποιείται άσπρο, ενώ για να επιτευχθεί αυτό που τελικά είναι μία άσπρη τελική επιφάνεια, επίπεδη, λεία και έτοιμη για βάψιμο χρειάζεται τρίψιμο με τριβίδι. Αυτός ο τύπος τελικής επιφάνειας είναι ο πιο συνηθισμένος, παρότι δεν είναι ο μοναδικός, και ονομάζεται τριφτό.

1.2.2.2. Ρηγματώσεις στη μάζα των επιχρισμάτων

Οι ρηγματώσεις που παρατηρούνται στα επιχρίσματα χαρακτηρίζονται από τις διαστάσεις τους (πάχος, βάθος, μήκος), καθώς επίσης κι από το σημείο που εμφανίζονται. Τα είδη των ρηγματώσεων που παρουσιάζουν τα επιχρίσματα είναι τα ακόλουθα [44]:

• Ρηγματώσεις λόγω συστολής πήξεως.

Πρόκειται για τις πλέον συνηθισμένες ρηγματώσεις των επιχρισμάτων που δημιουργούνται από τη διαδικασία σκλήρυνσης του κονιάματος. Τα κονιάματα με συνδετική ύλη το τσιμέντο και την άσβεστο υφίστανται κατά τη διάρκεια πήξεως, όπως και μετέπειτα στο χρόνο, συστολές που προκαλούν εσωτερικές τάσεις, οι οποίες οδηγούν σε τριχοειδείς ρηγματώσεις, διαφόρων κατευθύνσεων, μικρού μήκους, μη ορατές πολλές φορές με γυμνό μάτι. Η συστολή αυτή πήξεως είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι κι η ποσότητα της συνδετικής ύλης.

• Ρηγματώσεις προερχόμενες από διάβρωση οπλισμού υποστρώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Εμφανίζονται σε περιοχές όπου:

A) το επίχρισμα δεν προστατεύει επαρκώς το υπόστρωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα,

B) οι οπλισμοί του υποστρώματος δεν περιβάλλονται και δεν καλύπτονται επαρκώς με σκυρόδεμα,

Γ) η υγρασία και το οξυγόνο βρίσκουν προσβάσεις για να καταλήξουν στους οπλισμούς και να τους διαβρώσουν,

Δ) η διόγκωση του οπλισμού από τη διάβρωσή του με τις δυνάμεις που αναπτύσσονται, θρυμματίζουν την επικάλυψη των οπλισμών από σκυρόδεμα και ρηγματώνουν το επίχρισμα σε τέτοιο βαθμό, ώστε σε πολλές περιπτώσεις να αποκολλώνται και ολόκληρα τμήματά του.

• Ρηγματώσεις οφειλόμενες στα υλικά του κονιάματος, στις συνθήκες εφαρμογής τους και στις εξωτερικές συνθήκες.

Εμφανίζονται, μεταξύ άλλων, και στις εξής περιπτώσεις:

A) μεγαλύτερη του κανονικού ποσότητα νερού στο κονίαμα, με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα φαινόμενα συστολής πήξεως,

B) υπερβολική αναλογία συνδετικής ύλης, με αποτέλεσμα το κονίαμα να αποκτά μεγάλη ακαμψία (αύξηση του μέτρου ελαστικότητας),

Γ) πολύ μικρή ποσότητα συνδετικής ύλης, με αποτέλεσμα το επίχρισμα να έχει μειωμένη συνοχή και να αποσθρώνεται με την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών ιδίως με τον αέρα (αλευροποίηση),

Δ) γρήγορη εξάτμιση του νερού του κονιάματος, αφού η συστολή πήξεως είναι τόσο σημαντικότερη, όσο ξηρότερος είναι ο αέρας, καθώς και όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητά του,

Στ) εκτέλεση των διαφόρων στρώσεων του επιχρίσματος διαδοχικά της μίας επί της άλλης, χωρίς η κάθε στρώση να έχει ολοκληρώσει τη συστολή πήξεως, με αποτέλεσμα η ρηγμάτωση της προηγούμενης στρώσης να επιφέρει τη ρηγμάτωση της επόμενης.

• Ρηγματώσεις οφειλόμενες στο υπόστρωμα του επιχρίσματος.

Εμφανίζονται, μεταξύ άλλων, και στις εξής περιπτώσεις:

A) από απορρόφηση του νερού του κονιάματος.

Σε περίπτωση που το υπόβαθρο είναι ξηρό, απορροφά το νερό από το επίχρισμα προτού γίνει η πήξη του δεύτερου. Σε περιόδους που υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες και ξηροί άνεμοι, το νερό αυτό εξατμίζεται πρόωρα και το επίχρισμα χάνει τη συνοχή και τη μηχανική αντοχή του.

B) όταν το επίχρισμα εφαρμόζεται σε τελείως στεγνό, πορώδες υπόστρωμα.

Στην περίπτωση αυτή το κονίαμα του επιχρίσματος, ιδίως όταν δεν έχει προηγηθεί το πεταχτό με ισχυρή τσιμεντοκονία, θα <<καεί>>, δηλαδή θα χάσει το νερό του που θα απορροφηθεί από το υπόστρωμα, θα αποκτήσει μεγάλη καθαρότητα και θα αρχίσει να τρίβεται, να <<αλευροποιείται>>.

1.2.2.3. Αποκόλληση επιχρισμάτων από το υπόστρωμά τους ή από την υποκείμενη στρώση

Τα επιχρίσματα αποκολλώνται από το υπόστρωμά τους ή από την υποκείμενη στρώση για τους ακόλουθους λόγους [44]:

A) λόγω παρουσίας σκόνης στην επιφάνεια του υποστρώματος.

Χρειάζεται πάντοτε πριν από την ύγρανση του υποστρώματος να προκαλείται ένα στεγνό καθάρισμα από της σκόνης. Εάν γίνει συγχρόνως με την ύγρανση, υπάρχει κίνδυνος να επικαθίσει μια λεπτή μεμβράνη λάσπης που θα εμποδίσει την πρόσφυση του πεταχτού.

B) λόγω απορροφητικής και στεγνής επιφάνειας υποστρώματος.

Το υπόστρωμα εάν δεν υγρανθεί, κυρίως όταν είναι πορώδες, απορροφά το νερό του κονιάματος σε αρκετά σημαντικές ποσότητες, ώστε να μην υπάρχει αρκετό για τις χημικές αντιδράσεις του τσιμέντου και την πρόσφυσή του στο υπόστρωμά του. Η ύγρανση του υποστρώματος πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μην απορροφά το νερό του κονιάματος με τα τριχοειδή του, συγχρόνως όμως να μη δημιουργείται στην επιφάνεια του υποστρώματος μια μεμβράνη νερού που να εμποδίζει την πρόσφυση.

Γ) λόγω εφαρμογής λασπώματος χωρίς να έχει προηγηθεί το πεταχτό.

Πάντοτε πρέπει να προηγείται του λασπώματος ένα πεταχτό κονίαμα, για το οποίο εκείνο που έχει σημασία είναι η καλή πρόσφυσή του (το άγριο και ανώμαλο αυτού), ώστε το λάσπωμα να έχει τη μεγαλύτερη δυνατή, με τη σειρά του, πρόσφυση.

Δ) λόγω ύγρανσης της τελευταίας στρώσης, όταν έχει ρηγματωθεί.

Η τελευταία στρώση επιχρίσματος, όταν ρηγματωθεί λόγω του ότι μετατέθηκε το συνδετικό υλικό προς την επιφάνεια από υπερβολικό τρίψιμο, θα αποκολληθεί, όταν περάσει υγρασία από τις ρηγματώσεις.

E) υπερβολικό πάχος στρώσης.

Σε περίπτωση που το πάχος του επιχρίσματος είναι μεγαλύτερο των 3cm λαμβάνει χώρα ρηγμάτωση, λόγω της επιφανειακής σκλήρυνσης και της εγκλωβισμένης στο εσωτερικό υγρασίας, η οποία καθώς εκτονώνεται, <<σπάει>> την επιφανειακή κρούστα δημιουργώντας τις ρωγμές. Η δημιουργία ρωγμών, με τη σειρά της, οδηγεί σε εισροή υγρασίας και σταδιακά παρουσιάζονται προβλήματα αποκόλλησης.

1.3. ΣΤΡΩΜΑ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ

Ως στρώμα προετοιμασίας νοείται εκείνο το διάμεσο στρώμα υλικού μεταξύ φωτογραφικού υποστρώματος και φωτογραφικού γαλακτώματος, το οποίο έχει διττή λειτουργικότητα: αφενός αποτελεί τη βάση του φωτογραφικού γαλακτώματος, υπό την έννοια ότι βελτιώνει την πρόσφυση του φωτογραφικού γαλακτώματος στο φωτογραφικό υπόστρωμα [18], αφετέρου εξομαλύνει την

αδρή επιφάνεια του φωτογραφικού υποστρώματος [17]. παράλληλα, σε ορισμένες περιπτώσεις, επιτελεί και προστατευτικό ρόλο τόσο ως προς το υπόστρωμα, όσο και ως προς το φωτογραφικό γαλάκτωμα. Η ιδιαιτερότητα της επιφάνειας του υποστρώματος προτάσσει τη χρησιμοποίηση, κάθε φορά, διαφορετικού στρώματος προετοιμασίας (π.χ. σε πλαστικά φιλμ ως στρώμα προετοιμασίας χρησιμοποιείται ένα μίγμα ζελατίνης, οξικής και νιτρικής κυτταρίνης [18]).

1.3.1. Στρώμα προετοιμασίας και φωτογραφικό υπόστρωμα

Στα φωτογραφικά χαρτιά, ως στρώμα προετοιμασίας, χρησιμοποιείται επίστρωση baryta (θειικό βάριο διαλυμένο σε ζελατίνη) και επίστρωση πολυαιθυλενίου [15]. Η επίστρωση baryta, μάλιστα, που χρησιμοποιείται και στους περισσότερους τύπους φωτογραφικών χαρτιών [18], προφυλάσσει, μέσω της αδιαφάνειάς της, τις ίνες του χαρτιού από την φωτοοξειδωση και αποτελεί έναν φραγμό στη διάδοση ουσιών από φτωχής ποιότητας σκληρές βάσεις (π.χ. χαρτόνι), οι οποίες θα προσέβαλλαν τη ζελατίνη του φωτογραφικού γαλακτώματος [11] και πιθανά θα διατάρασσαν την ακεραιότητα του φωτογραφικού γαλακτώματος.

Για απορροφητικά υποστρώματα, όπως το ξύλο ή το ύφασμα, χρησιμοποιείται καθαρή φωτογραφική ζελατίνη.

Σε λείες ή/και σκληρές επιφάνειες, όπως τα μέταλλα, η πέτρα, το γυαλί, χρησιμοποιείται φωτογραφική ζελατίνη με πρόσθετο σκληρυντή ζελατίνη και, ενώ στις περιπτώσεις στις οποίες παρατηρείται αποκόλληση του φωτογραφικού γαλακτώματος προτείνεται η χρησιμοποίηση αλκυδικού ασταριού ή πολυουρεθανικής βαφής [20].

Τα αστάρια είναι ουσίες που συνδέονται αυτόματα με τη βαφή οποιασδήποτε επιφάνειας. Ο λόγος είναι η ικανότητα ισχυρότατης πρόσφυσης σε οποιαδήποτε επιφάνεια, ιδιότητα η οποία εξασφαλίζεται από τη μεγάλη εξειδίκευση και ποικιλία τους. Για πορώδεις επιφάνειες, όπως είναι τα κονιάματα του έργου, χρησιμοποιούνται ακρυλικά αστάρια, τα οποία εκτός της ισχυρής ικανότητας πρόσφυσης και της διεισδυτικότητάς τους, παρέχουν προστασία έναντι της υγρασίας [21, 22] και προσανξάνουν, έτσι, τη συνολική αντοχή των κονιαμάτων [23].

1.3.2. Βερνίκι πολυουρεθάνης

Το βερνίκι πολυουρεθάνης εμφανίζει πολύ μεγάλη αντοχή στις καιρικές συνθήκες, μεγάλη σκληρότητα συνδυασμένη με πολύ καλή ελαστικότητα, καθώς και εξαιρετική αντοχή σε χημικά, νερό και διαλύτες. Το βερνίκι πολυουρεθάνης συστήνεται με γνώμονα τον προστατευτικό του ρόλο ως προς τις υπερκείμενη στρώση του φωτογραφικού υλικού έναντι των υποκείμενων στρώσεων. Έτσι, και ως βερνίκι σχηματισμού υμένα [35], διασφαλίζει την οπτική ακεραιότητα της εικόνας και τη μείωση του κινδύνου απώλειας αυτής, αποτρέποντας την

απορρόφηση του φωτογραφικού υλικού (φωτογραφικό γαλάκτωμα), καθώς και των μετερχόμενων, προς τη φωτογραφική εκτύπωση, χημικών διαλυμάτων, από τα υποκείμενα πορώδη στρώματα.

Γενικά τα βερνίκια παρουσιάζουν προβλήματα κι αστοχίες κατά την εφαρμογή και μετά την εφαρμογή, καθώς και προβλήματα κατά την αντίδραση ή ξήρανση [45].

1.3.2.1. Προβλήματα και αστοχίες κατά την εφαρμογή

Λανθασμένη μεθοδολογία ή πρακτική κατά την εφαρμογή είναι συνηθισμένη αιτία διαφόρων προβλημάτων. Λανθασμένη επιλογή ή ελλιπής συντήρηση εξοπλισμού βαφής, μη εξειδικευμένοι βαφείς, ή ακόμη και οι καιρικές συνθήκες κατά την ώρα της εφαρμογής μπορεί να έχουν σημαντική επίπτωση στο τελικό αποτέλεσμα [45]:

- Χονδροί κόκκοι («μπιμπίκια») από κατάλοιπα και σκόνη
Πριν από οποιαδήποτε επαναβαφή θα πρέπει να απομακρύνονται η σκόνη και κατάλοιπα από τριψίματα, γυαλοχαρτίσματα ή άλλη μηχανική προεργασία της επιφάνειας. Στην αντίθετη περίπτωση τα κατάλοιπα αυτά θα εγκλωβιστούν στην βαμμένη επιφάνεια, επηρεάζοντας την εμφάνισή της και την απόδοση του συστήματος.
- Δάκρυσμα ή "τρέξιμο" – Sagging
Το δάκρυσμα προκαλείται από τους εξής παράγοντες:
 - A) Το βερνίκι εφαρμόζεται σε μεγαλύτερο πάχος από το επιτρεπτό όριο.
 - B) Στο βερνίκι έχει προστεθεί ποσότητα αραιωτικού μεγαλύτερη από το επιτρεπτό.
 - Γ) Το πινέλο δεν στραγγίζεται καλά πριν το βάψιμο.
 - Δ) Το πιστόλι βαφής τοποθετείται υπερβολικά κοντά στην επιφάνεια κατά την εφαρμογή.Μετά την πλήρη αντίδραση το βερνίκι μπορεί να εμφανίσει ρωγμές και να αποκαλυφθεί το υπόστρωμα. Εφόσον παρατηρηθεί τρέξιμο κατά τη βαφή θα πρέπει να απομακρύνεται όσο η επιφάνεια είναι ακόμη υγρή. Επιδιόρθωση μετά το στέγνωμα απαιτεί απομάκρυνση του βερνικιού και επαναβαφή.
- Κρατήρες, τρύπες και πόροι
Συνήθης αιτία εμφάνισης των παραπάνω είναι λανθασμένη τεχνική κατά τη βαφή, όπως μεγάλο πάχος βαφής, υψηλός εξαερισμός ή άνεμος, μεγάλη πίεση αέρα κατά την εφαρμογή με πιστόλι ή μεγάλη απόσταση εφαρμογής. Κατά την εφαρμογή μεγάλου πάχους παγιδεύεται αέρας στο βερνίκι, ο οποίος διαφεύγει κατά την αντίδραση και προκαλεί τα παραπάνω φαινόμενα. Εφόσον παρατηρηθεί εμφάνιση κρατήρων κατά

τη βαφή αυτοί θα πρέπει να απομακρύνονται όσο η επιφάνεια είναι ακόμη υγρή. Επιδιόρθωση μετά το στέγνωμα απαιτεί απομάκρυνση του βερνικιού και επαναβαφή.

➤ Ανεπαρκές πάχος βαφής

Συνήθως συνιστά αποτέλεσμα λανθασμένης τεχνικής βαφής. Επίσης μπορεί να προκληθεί από προσθήκη υπερβολικής ποσότητας διαλύτη στο βερνίκι. Σημειώνεται ότι συνήθως η εφαρμογή με ρολό ή πινέλο έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο πάχος βαφής από ότι η εφαρμογή με πιστόλι.

Τα σημεία με μικρό πάχος βαφής μπορούν να επαναβαφούν σύμφωνα με το χρονικό όριο επαναβαφής που αναφέρεται στο τεχνικό φυλλάδιο του βερνικιού.

➤ Υπερβολικό πάχος βαφής

Το υπερβολικό πάχος βαφής επηρεάζει δυσμενώς την απόδοση του βερνικιού προκαλώντας φαινόμενα όπως ρωγμές, εγκλωβισμός διαλύτη, δάκρυσμα, κρατήρες και τρύπες.

➤ Διακοπές

Χαρακτηρίζονται έτσι οι περιοχές οι οποίες διέφυγαν της προσοχής του βαφέα ή όπου εφαρμόσε ανεπαρκές πάχος βαφής (π.χ. ελλιπής αλληλοεπικάλυψη). Αυτές οι περιοχές θα πρέπει να διορθώνονται πριν από τη εφαρμογή της επόμενης στρώσης.

➤ Κυκλικά κενά (Fish eyes) - Κακή διαβροχή

Ορισμένες περιοχές της επιφάνειας δεν διαβρέχονται σωστά από το βερνίκι. Οφείλεται συνήθως σε μόλυνση της επιφάνειας από λάδια, γράσα, σκόνη, υγρασία, σιλικόνη κλπ.

1.3.2.2. Προβλήματα κατά την αντίδραση ή την ξήρανση

Ο έλεγχος των συνθηκών αντίδρασης ή ξήρανσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη βέλτιστη απόδοση ενός συστήματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο έλεγχος αυτός γίνεται εμπειρικά [45]:

✓ Ζάρωμα

Το ζάρωμα εμφανίζεται συχνά σε αλκυδικά βερνίκια ή βερνίκια με βάση λαδιού, όταν εφαρμόζονται σε μεγάλο πάχος. Τότε το εξωτερικό στρώμα αντιδρά πλήρως, ενώ το εσωτερικό στρώμα παραμένει μαλακό.

1.3.2.3. Προβλήματα κι αστοχίες μετά την εφαρμογή

Τα προβλήματα που δημιουργούνται μετά την εφαρμογή του βερνικιού είναι τα εξής [45]:

❖ Αποχρωματισμός

Οφείλεται συχνά στη ρητίνη που έχει χρησιμοποιηθεί στο βερνίκι. Άλλες ρητίνες κιτρινίζουν στον ήλιο, ενώ άλλες στο σκοτάδι.

❖ Φλύκταινες – Φυσαλίδες

Από τις πιο συνήθεις αστοχίες, συσχετίζεται με την πρόσφυση του βερνικιού. Ορισμένες φορές οι φυσαλίδες είναι ξηρές, και άλλες περιέχουν υγρό. Μπορεί να είναι μικρές ή μεγάλες, ανάλογα με το βαθμό πρόσφυσης με το υπόστρωμα ή μεταξύ των στρώσεων και με την εσωτερική πίεση του αερίου ή υγρού μέσα στη φυσαλίδα, ενώ εμφανίζονται συχνά σε σχήμα ημισφαιρίου. Οι βασικές κατηγορίες είναι οι εξής:

- Φυσαλίδες μεταξύ του συστήματος βαφής και του υποστρώματος.
- Φυσαλίδες μεταξύ των διαφόρων στρώσεων του συστήματος.

Είναι επίσης δυνατή η εμφάνιση φυσαλίδων μέσα στην ίδια στρώση, από εγκλωβισμό αέρα ή διαλύτη ή και των δύο. Εμφανίζεται σπανιότερα από τις δύο πρώτες κατηγορίες.

Το φαινόμενο μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες, όπως οι ακόλουθες:

- Ώσμωση από συστατικά, τα οποία απορροφούν υγρασία διαμέσου του υμένα. Επίσης οφείλεται σε διαλυτά άλατα που μολύνουν το υπόστρωμα ή την επιφάνεια μεταξύ των στρώσεων.
- Μόλυνση της επιφάνειας από άλλα υλικά που εμποδίζουν την πρόσφυση (λάδια, σκόνη, κεριά κλπ). Στις περιπτώσεις αυτές εμφανίζονται ξηρές φυσαλίδες.
- Εγκλωβισμένοι διαλύτες στον υμένα πιθανόν να αυξάνουν την προσρόφηση υγρασίας και να οδηγήσουν σε δημιουργία φυσαλίδων. Συνοδεύεται από οσμή διαλύτη.

❖ Αποφολίδωση – Ξεφλούδισμα

Συσχετίζεται πάντοτε με την πρόσφυση. Συνήθως οφείλεται σε ανεπαρκή προεργασία, μολύνσεις στο υπόστρωμα ή μεταξύ των στρώσεων, υπέρβαση του καθορισμένου χρόνου επαναβαφής ή σε κιμωλίαση. Επίσης προκαλείται από γήρανση ή παρατεταμένη έκθεση του βερνικιού σε καιρικές συνθήκες.

Τα διαφανή βερνίκια (ειδικά πάνω στα ξύλα) έχουν ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα κατά την έκθεση τους στην ηλιακή ακτινοβολία. Σε αντίθεση με τα αδιαφανή χρώματα, στα οποία η ακτινοβολία σταματά στην επιφάνεια λόγω της αδιαφάνειας, αυτή περνά μέσα από την μάζα του

βερνικιού και φθάνει στην επιφάνεια του υποστρώματος. Η υπεριώδης ακτινοβολία αφενός μεν καταστρέφει γρηγορότερα τον υμένα του βερνικιού (που είναι κάποιο πολυμερές), αφετέρου δε μπορεί να καταστρέψει το υπόστρωμα, όπως στην περίπτωση του ξύλου, και προκαλεί αποκόλληση του βερνικιού σε σύντομο χρονικό διάστημα. Για την προστασία από αυτό το φαινόμενο, προστίθενται στα διαφανή βερνίκια ορισμένα πρόσθετα που απορροφούν τις υπεριώδεις ακτίνες ή τους μεταβάλλουν τη συχνότητα, καθιστώντας τες λιγότερο επιβλαβείς.

❖ Ρηγμάτωση

Οι ρωγμές στο βερνίκι εκτείνονται μέχρι το υπόστρωμα. Όσο πιο μεγάλο το πάχος του υμένα, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι τάσεις που αναπτύσσονται στην επιφάνεια της επικάλυψης. Όταν οι τάσεις αυτές είναι μεγαλύτερες από την εσωτερική συνοχή του βερνικιού (συνήθως λόγω ελλιπούς συνταγής) εμφανίζονται ρωγμές. Επίσης δημιουργούνται από απότομες μεταβολές στην θερμοκρασία, που προκαλούν συστολοδιαστολές.

❖ Κιμωλίαση

Καθαρά επιφανειακό φαινόμενο, οφείλεται κυρίως στην υπεριώδη ακτινοβολία του ηλιακού φωτός. Εμφανίζεται σπάνια σε σκιασμένες περιοχές. Υγρασία, οξυγόνο και ατμοσφαιρική ρύπανση επίσης παίζουν ρόλο στην εμφάνιση του φαινομένου. Τα ανωτέρω αντιδρούν με το φορέα (ρητίνη). Τα εποξειδικά βερνίκια υφίστανται κιμωλίαση με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Φορείς όπως τα ακρυλικά και οι πολυουρεθάνες επηρεάζονται λίγο από την ακτινοβολία του ηλίου και δεν παρουσιάζουν εύκολα κιμωλίαση.

❖ Έλλειψη πρόσφυσης

Αν εμφανισθεί αμέσως μετά την εφαρμογή του βερνικιού, οφείλεται σε μη συμβατότητα με την επιφάνεια προς βαφή, είτε αυτό είναι το πρώτο στρώμα, είτε άλλα στρώματα. Επίσης μπορεί να οφείλεται σε κακή προετοιμασία της επιφάνειας, και αν δεν είναι η πρώτη στρώση, μπορεί να είναι κακή τήρηση των χρόνων επαναβαφής.

1.3.3. Αλληλεπίδραση βερνικιού πολυουρεθάνης με υποκείμενες στρώσεις

Η εξαιρετική ανταποκρισιμότητα του βερνικιού πολυουρεθάνης στον προστατευτικό ρόλο ως προς τα υπερκείμενα στρώματα δύναται να λειτουργήσει αντίστροφα ως προς τα υποκείμενα στρώματα, με έμμεση επίδραση και στο στρώμα του ίδιου του βερνικιού. Ο υμένας που σχηματίζει το βερνίκι κλείνει τους πόρους του υποκείμενου επιχρίσματος και παρεμποδίζει τη

διάχυση των υδρατμών (αναπνοή δομικού στοιχείου). Η αναχαίτιση της πορείας των υδρατμών και η επόμενη συσσώρευσή τους στα υποκείμενα στρώματα είναι δυνατόν να οδηγήσει σε διόγκωση του υποκείμενου επιχρίσματος, με αποτελέσματα τη ρήξη της συνοχής του στρώματος του βερνικιού, εξαιτίας της δημιουργίας εσωτερικών τάσεων και, σε ακραίες περιπτώσεις, την αποκόλληση και πτώση του επιχρίσματος [46].

1.4. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ

Αν και ο όρος γαλάκτωμα είναι ο παραδοσιακά χρησιμοποιούμενος, η χρήση του είναι λανθασμένη, από φυσικοχημικής απόψεως.^{21, 22} Το φωτογραφικό γαλάκτωμα είναι ουσιαστικά μία στερεή διασπορά, με μέσο διασποράς τη ζελατίνη και διασπαρμένη φάση τους μικροσκοπικούς κρυστάλλους των αλογονιδίων του αργύρου (AgX) [25, 26].

1.4.1. Ζελατίνη

Η ζελατίνη συνεχίζει να αποτελεί το πρωταρχικό συνδετικό μέσο των φωτογραφικών προϊόντων, περισσότερο από έναν αιώνα από την πρώτη της χρήση, το 1871, στη διαδικασία ξηρής πλάκας, από το Dr. Richard Leach Maddox. Προσπάθειες για αντικατάσταση της ζελατίνης από υδατοδιαλυτά συνθετικά πολυμερή έχουν καταστεί επιτυχείς, μόνο μερικώς, αφού οι μοναδικές ιδιότητες της ζελατίνης είναι πρακτικώς αδύνατο να αναπαραχθούν.

Ως επιπλέον εμπόδια, για την αντικατάσταση της ζελατίνης από συνθετικά υλικά, έχουν σταθεί η διαθεσιμότητα πρώτης ύλης (βοδινό κόκκαλο), για την παραγωγή της, και το σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής της [27].

1.4.1.1. Ιδιότητες

Οι ιδιότητες της ζελατίνης, υπό το πρίσμα της φωτογραφικής της χρησιμότητας, μπορούν να περιγραφούν ως ακολούθως:

Η ζελατίνη είναι τελείως διαλύτη στο νερό, μα μόνο σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 35- 40 C. Το προκύπτον διάλυμα συνιστά ένα εξυπηρετικό μέσο ως προς τις χημικές αντιδράσεις που οδηγούν στην παραγωγή των αλογονιδίων του αργύρου. Άμα το σχηματισμό των αλογονιδίων του αργύρου, η ζελατίνη επικαλύπτει την επιφάνεια κάθε κρυστάλλου κρατώντας τους χωριστά, προστατεύοντας τους έτσι έναντι συσσωμάτωσης, και διασπαρμένους στο υγρό. Από κατασκευαστικής απόψεως, το γεγονός ότι η ζελατίνη είναι εργάσιμη σε υδατικά διαλύματα, χωρίς την ανάγκη για υψηλές θερμοκρασίες ή χρήση ακριβών, εύφλεκτων διαλυτών είναι μία σημαντική παράμετρος που έχει κρατήσει το κόστος παραγωγής σε χαμηλά επίπεδα [27, 28].

Σε χαμηλότερες, των 35-40 °C, θερμοκρασίες η ζελατίνη διογκώνεται απορροφώντας ταχύτατα 5-10 φορές το βάρος της σε νερό. Η ικανότητα της ζελατίνης να διογκώνεται αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο στάδιο της χημικής επεξεργασίας, αφού σε αυτό, τα χρησιμοποιούμενα διαλύματα είναι υδατικά. Η διόγκωση της ζελατίνης ωφελεί διπλά: αφενός φέρει γρήγορα σε επαφή το διάλυμα με τους κρυστάλλους των αλογονιδίων του αργύρου, συντελώντας σε ταχεία επεξεργασία, αφετέρου διευκολύνει την αποτελεσματική απομάκρυνση υπολειπόμενων χημικών, μέσω διαλυμάτων πλύσης [27, 28]. Η διαλυτότητα της ζελατίνης εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, ο πιο άξιος αναφοράς, από τους οποίους, είναι το pH. Η ζελατίνη είναι ένας πολυαμφόλυτης (έχει θετικά και αρνητικά φορτία), ο αριθμός των οποίων ελέγχεται από το pH [29]. Μάλιστα, η ζελατίνη έχει το πλεονέκτημα, οι τιμές pH για τις οποίες διογκώνεται, να συμβαδίζουν με τα pH ενεργότητας των τυπικών εμφανιστών.

Άλλη πολύ χρήσιμη ιδιότητα της ζελατίνης είναι η ικανότητά της να σχηματίζει θερμοαντιστρεπτά τζελ. Η ζελατίνη, όταν θερμαίνεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 35-40 °C, σχηματίζει διάλυμα σχετικά χαμηλού ιξώδους, το οποίο επιτρέπει την άντλησή της και την επίστρωσή της στο φωτογραφικό υπόστρωμα. Αντίθετα, όταν ψύχεται σε θερμοκρασία 35-40 °C, μετασχηματίζεται σε τζελ, με αποτέλεσμα να καθίσταται φυσικά σταθερότερη ως προς το φωτογραφικό υπόστρωμα [27, 28].

Η παρουσία δραστικών ομάδων, όπως αμινών, καρβοξυλικών οξέων, ομάδων υδροξυλίου, στα μόρια της ζελατίνης παρέχει ευρείες δυνατότητες χημικής τροποποίησης της ζελατίνης προς επιθυμητές φυσικές και χημικές ιδιότητες. Ιδιαίτερης σημασίας για τη φωτογραφική βιομηχανία είναι η δυνατότητα αντίδρασης της ζελατίνης με ουσίες που ονομάζονται σκληρυντές. Η αντίδραση της ζελατίνης με τους σκληρυντές (σκληρήνωση) επιτυγχάνει τον εξής συνδυασμό: επιτρέπει την ούτως ή άλλως φυσική - σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 35- 40 °C - διόγκωση της ζελατίνης, κατά τη χημική επεξεργασία του φωτογραφικού προϊόντος διόγκωση απαραίτητη για τη διείσδυση των χρησιμοποιούμενων χημικών, ενώ παράλληλα καθιστά τα στρώματα του φωτογραφικού προϊόντος αδιάλυτα. Η σκληρήνωση της ζελατίνης συνεισφέρει και στις φυσικές ιδιότητες του φωτογραφικού προϊόντος, αφού ενισχύει την συνεκτικότητα του γαλακτώματος στο φωτογραφικό υπόστρωμα, καθιστώντας το επιπλέον και συνολικά πιο εύρωστο (ευελιξία, ανθεκτικότητα στην τριβή) [27, 28].

Γενικές κατηγορίες σκληρυντών αποτελούν οι ακόλουθες ενώσεις [27, 28]:

- αλδεΐδες
- παράγωγα καρβοξυλικών και καρβαμικών οξέων
- σουλφονικοί εστέρες
- σουλφονικά αλογονίδια (R-SO₂-Cl)
- ενεργά αλογονούχα συστατικά
- s-τριαζίνες (C₃H₃N₃)
- εποξειδία
- αζιριδίνες (C₂H₅N)
- ενεργές ολεφίνες

- ισοκυανικά ($-N=C=O$)
- πολυμερή.

Η ζελατίνη έχει, επίσης, πολύ καλές οπτικές ιδιότητες. Είναι διαφανής στο ορατό φάσμα επιτρέποντας στο φως, κατά την έκθεση, να προσβάλλει τους κρυστάλλους των αλογονιδίων του αργύρου, και έχει χαμηλό δείκτη διάθλασης, εξασφαλίζοντας την αποτελεσματικότητα της αλληλεπίδρασης του φωτός με τους, υψηλού δείκτη διάθλασης, κρυστάλλους των αλογονιδίων του αργύρου [27, 28].

1.4.1.2. Φυσική φθορά

Η φυσική σταθερότητα της ζελατίνης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις επικρατούσες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Σε θερμοκρασία 20^o C και σχετική υγρασία 50%, η ζελατίνη παραμένει σταθερή για 300 χρόνια, ενώ σε συνθήκες υψηλότερης υγρασίας η σταθερότητά της μειώνεται κατακόρυφα (π.χ. σε σχετική υγρασία 80%, ο χρόνος ζωής της ανέρχεται σε 50 χρόνια).

Η ζελατίνη, σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, γίνεται μαλακή και κολλώδης, με αποτέλεσμα να αποκολλάται εύκολα από το υπόστρωμα ή να ξεφλουδίζει, ενώ σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας συρρικνώνεται και ρηγματώνεται, γενόμενη, μάλιστα, υπερβολικά εύθραυστη σε πολύ ξηρές περιβαλλοντικές συνθήκες (σχετική υγρασία μικρότερη από 15%).

Η διαφορά υγροσκοπικότητας μεταξύ της ζελατίνης και του αμέσως υποκείμενου στρώματος του βερνικιού πολυουρεθάνης, καθώς και οι διακυμάνσεις στα επίπεδα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας δύνανται να συντείνουν στην αποκόλληση ή στο ξεφλούδισμα της ζελατίνης και στη ρηγμάτωσή της, με τη μορφή κρακελαρίσματος [11].

1.4.1.3. Χημική φθορά

Η ζελατίνη, αν και αρκετά σταθερή χημικά, αντιδρά βραδέως με οξέα, αλκάλια και οξειδωτικούς αέριους ρυπαντές, στη διάχυση των οποίων παρουσιάζει μηδαμινή αντίσταση σε συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας (συνήθως πάνω από 60%), με αποτέλεσμα την αποσκλήρυνσή και τη μείωση της συνοχής της [11].

1.4.1.4. Βιολογική φθορά

Ένα από τα συνηθέστερα προβλήματα που προκαλούνται στη ζελατίνη είναι η ανάπτυξη μούχλας, για την οποία η ζελατίνη αποτελεί ιδανικό υπόβαθρο, και οφείλεται στην υψηλή σχετική υγρασία (μεγαλύτερη από 70%) για μεγάλα χρονικά διαστήματα (αρκετές ημέρες) σε συνδυασμό με κακή κυκλοφορία αέρα [11].

1.4.2. Αλογονίδια αργύρου

Τα πιο επιτυχημένα συστήματα για τη φωτογραφία βασίζονται στη χημεία του αργύρου. Τα εμπορικά φωτογραφικά προϊόντα, σήμερα, στηρίζονται, σχεδόν αποκλειστικά, στη φωτοευαισθησία των αλογονιδίων του αργύρου. Τα αλογονίδια του αργύρου είναι άλατα του αργύρου με ένα από τα αλογόνα στοιχεία και συγκεκριμένα με χλώριο, βρώμιο ή ιώδιο [31].

Το 1720, ο γερμανός καθηγητής Schultze, παρατήρησε, πρώτος, πως όταν άλατα αργύρου εκτίθονταν σε φως μαύριζαν. Η μοναδικότητα της φωτοευαισθησίας των αλογονιδίων αργύρου έγκειται στο συνδυασμό δύο στοιχείων [26]:

α) χρειάζεται πολύ μικρή έκθεση για να γίνει η σύλληψη της αντικειμενικής πραγματικότητας, της εικόνας εν ολίγοις. Σε αυτό το στάδιο, η εικόνα είναι αόρατη με γυμνό μάτι και ονομάζεται λανθάνουσα εικόνα. Η λανθάνουσα εικόνα συνίσταται σε μερικά άτομα αργύρου ανά εκτιθέμενο κρύσταλλο αλογονιδίου του αργύρου και σχηματίζεται ταχύτατα, σε χρόνους τάξης χιλιοστού του δευτερολέπτου [31] και

β) η επίδραση του φωτός – διαφορετικά θα χρειαζόταν μακροχρόνια παραμονή σε καθεστώς έκθεσης (απευθείας μαύρισμα)¹¹ -, συνεχίζεται με τη διαδικασία της εμφάνισης. Σε αυτήν, η εικόνα ενισχύεται κατά έναν παράγοντα 10^9 με 10^{12} , τουτέστιν τα, αρχικά, λίγα άτομα αργύρου ανά εκτιθέμενο κρύσταλλο αλογονιδίου, πολλαπλασιάζονται αντίστοιχα με τον προαναφερθέντα παράγοντα ενίσχυσης. Η εικόνα, και μετά από επιπλέον στάδια επεξεργασίας, γίνεται πλέον ορατή και ονομάζεται αρνητική εικόνα, αφού οι αξίες χρώματός της ως προς αυτές της αντικειμενικής πραγματικότητας είναι αντεστραμμένες, οι φωτεινές περιοχές παρουσιάζονται ως μαύρες και οι σκούρες ως λευκές. Η αρνητική εικόνα επανεκτίθεται και, μετά από εκ νέου χημική επεξεργασία, αντιστρέφεται στη θετική εικόνα, η οποία είναι, πλέον, πλήρως ταυτόσημη με την αντικειμενική πραγματικότητα [26].

Στα συμβατικά ασπρόμαυρα γαλακτώματα, οι κρύσταλλοι αργύρου, είναι, τυπικά, μίγματα αλογονιδίων, παρά καθαροί κρύσταλλοι ενός μόνον αλογονιδίου. Τα συνηθέστερα μίγματα είναι τα χλωροβρωμιούχα και τα ιωδοβρωμιούχα. Τα μεν πρώτα είναι ένας συνδυασμός χλωριούχου αργύρου με ένα ποσοστό βρωμιούχου αργύρου, τα δε δεύτερα, ένας συνδυασμός βρωμιούχου αργύρου με ένα ποσοστό βρωμιούχου ιωδίου (1-10%). Τα χλωροβρωμιούχα, αν και λιγότερο φωτοευαίσθητα - πιο αργά - , αφού ο χλωριούχος άργυρος είναι λιγότερο φωτοευαίσθητος από το βρωμιούχο άργυρο, εκμεταλλεύονται την υψηλότερη διαλυτότητα του χλωριούχου αργύρου και χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που χρειάζεται γρήγορη επεξεργασία, όπως στα φωτογραφικά χαρτιά. Τα ιωδοβρωμιούχα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις, όπου επιβάλλεται μεγάλη ευαισθησία, όπως στα αρνητικά των φωτογραφικών καμερών [26].

1.4.3. Παραγωγή γαλακτώματος

Αν και οι ακριβείς μέθοδοι παρασκευής γαλακτωμάτων είναι επτασφράγιστα εμπορικά μυστικά, εντούτοις, βασικές υπεισερχόμενες διαδικασίες είναι γνωστές. Αδρομερώς, τα βασικά στάδια παραγωγής ενός γαλακτώματος είναι τα ακόλουθα [25, 30]:

A) ο σχηματισμός (κρυστάλλωση) των αλογονιδίων του αργύρου μέσω αντίδρασης ενός αλογονιδίου, με τη μορφή άλατος με άλκαλι (π.χ. KBr, NaCl), με νιτρικό άργυρο σε διάλυμα ζελατίνης,

B) η επανακρυστάλλωση, γνωστή ως πρώτη ή φυσική ωρίμανση ή ωρίμανση κατά Ostwald, κατά την οποία οι μικρότεροι κρύσταλλοι τείνουν προς διάλυση, ενώ οι μεγαλύτεροι μεγαλώνουν ολοένα, ως πυρήνες κρυστάλλωσης,

Γ) η πλύση προς απομάκρυνση παραπροϊόντων,

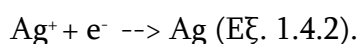
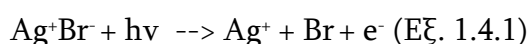
Δ) η δεύτερη ωρίμανση ή χημική ωρίμανση μέσω προσθήκης χημικών ευαισθητοποιητών,

Ε) προσθήκη οποιουδήποτε άλλου προσθέτου (π.χ. σκληρυντές, χημικοί και φασματικοί ευαισθητοποιητές, αντιστατικοί φορείς κ.ά.).

1.4.4. Σχηματισμός λανθάνουσας εικόνας

Η λανθάνουσα εικόνα είναι μία, φωτολυτικά προωθούμενη, αλλαγή στον κρύσταλλο του αλογονιδίου του αργύρου η οποία αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης, από πολύ χαμηλή σε πολύ υψηλή. Όλοι οι κρύσταλλοι του γαλακτώματος (εκτιθέμενοι και μη) θα ανάγονταν τελικά σε άργυρο, αν η διαδικασία της εμφάνισης διαρκούσε αρκετά περισσότερο, όμως ο ρυθμός αναγωγής είναι πολύ μεγαλύτερος για τους κρυστάλλους, οι οποίοι έχουν εκτεθεί και σχηματίζει τη λανθάνουσα εικόνα. Η εν λόγω, φωτολυτικά προωθούμενη, αλλαγή συνίσταται στο σχηματισμό ενός συνόλου ατόμων αργύρου είτε στην επιφάνεια - σε ένα ή περισσότερα σημεία - είτε στον κύριο όγκο του κρυστάλλου. Τα εν λόγω σημεία, με τη σειρά τους, επιφανειακά ή ενδοκρυσταλλικά, είναι είτε ατέλειες (διαπλεγματικά ιόντα αργύρου) είτε ακαθαρσίες [30].

Απορρόφηση φωτός από τα αλογονίδια του αργύρου οδηγεί στην απελευθέρωση ηλεκτρονίων (φωτοηλεκτρόνια), τα οποία συνδυάζονται με τα κινητά διαπλεγματικά άτομα αργύρου προς σχηματισμό ατόμων αργύρου, κατά το γενικό σχήμα [25, 30]:



Για να καταστεί δυνατή η ένωση του ηλεκτρονίου με το ιόν αργύρου, θα πρέπει καταρχήν, σε συνδυασμό και με την κινητικότητα του ιόντος αργύρου, το ηλεκτρόνιο να καταστεί κινητό. Σε έναν τέλειο (χωρίς ατέλειες και ακαθαρσίες) κρύσταλλο τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν τη ζώνη σθένους, με τη ζώνη

αγωγιμότητας να είναι κενή και την ενδιάμεση ζώνη απρόσφορη για την ύπαρξη ηλεκτρονίου εξ' ου και απαγορευμένη ζώνη. Για να καταστεί κινητό το ηλεκτρόνιο θα πρέπει να μεταβεί στη ζώνη αγωγιμότητας η οποία απέχει ενεργειακά από τη ζώνη σθένους περίπου 2,5eV. Η ενέργεια αυτή προσφέρεται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του φωτός, το ηλεκτρόνιο μεταβαίνει στη ζώνη αγωγιμότητας όπου πλέον είναι ελεύθερο να κινηθεί και η προηγούμενα κατειλημμένα από αυτό θέση συνιστά μία οπή, επίσης κινητή και θετικά φορτισμένη. Ο επανασυνδυασμός ηλεκτρονίου - οπής είναι η ανταγωνιστική διαδικασία η οποία θα πρέπει να προσπελαστεί ώστε να συνδυαστεί το ιόν αργύρου με το ηλεκτρόνιο, διότι αν και κινητά, τόσο τα ηλεκτρόνια όσο και τα ιόντα αργύρου, η συνολική τους ενέργεια είναι τόσο υψηλή που καθιστά αδύνατη την ένωσή τους. Χρειάζεται επομένως μία ενεργειακά χαμηλότερη ως προς τη ζώνη αγωγιμότητας βαθμίδα στην οποία θα μπορούν να συγκρατηθούν τα ηλεκτρόνια, ώστε εκεί πλέον να προσέλθουν τα ιόντα αργύρου και να ενωθούν. Σε ένα τέλειο κρύσταλλο, όπως προαναφέρθηκε, δεν υπάρχει καμία τέτοια ενδιάμεση μεταξύ της ζώνης σθένους και της ζώνης αγωγιμότητας βαθμίδα. Αντίθετα, σε έναν ατελή κρύσταλλο υπάρχουν και οι θέσεις αυτές ονομάζονται παγίδες (traps) [26, 30].

Πλέον ο συνδυασμός είναι εφικτός και γίνεται σε δύο στάδια (step-by-step mechanism) [26, 30] :

- α) σχηματισμός ενός πρώτου σταθερού συσσωματώματος ατόμων αργύρου, το οποίο αποτελείται από τουλάχιστον δύο άτομα αργύρου και
- β) περαιτέρω αύξηση του συσσωματώματος αυτού.

Όλα τα παραπάνω, αποτελούν βασικά συστατικά στοιχεία της θεωρίας των Gurney-Mott, της επικρατέστερης, έως τώρα, θεωρίας επεξήγησης του σχηματισμού της λανθάνουσας εικόνας.

Η ευαισθητοποίηση των αλογονιδίων του αργύρου μπορεί να ερμηνευτεί πάνω σε αυτή τη βάση.

1.4.4.1. Χημική ευαισθητοποίηση

Η χημική ευαισθητοποίηση συνίσταται στη χρησιμοποίηση ουσιών, κατά την παραγωγή του γαλακτώματος οι οποίες αυξάνουν την ευαισθησία του γαλακτώματος υπό την έννοια ότι μειώνουν κατά πολύ τον αριθμό των απαραίτητων φωτονίων προς εμφανισιμότητα της εικόνας. Οι συνηθέστερες ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι συστατικά θείου, χρυσού και άλλων ευγενικών μετάλλων, οι οποίες με βάση τη θεωρία των Gurney - Mott συνιστούν παγίδες ηλεκτρονίων. Το ιώδιο, στα ιωδοβρωμιούχα γαλακτώματα λειτουργεί επίσης ως χημικός ευαισθητοποιητής (παγίδα ηλεκτρονίων), προάγοντας το σχηματισμό της λανθάνουσας εικόνας [26].

1.4.4.2. Φασματική ευαισθητοποίηση

Η εγγενής ευαισθησία των αλογονιδίων του αργύρου περιορίζεται στην υπεριώδη και μπλε περιοχή του φάσματος (π.χ. ο βρωμιούχος άργυρος απορροφά στα 490nm, ο χλωριούχος άργυρος στα 420nm). Μία μικρή ενίσχυση της φασματικής ευαισθησίας επιτυγχάνεται με τα μίγματα αλογονιδίων του αργύρου, συγκεκριμένα η φασματική απορρόφηση του χλωριούχου αργύρου εκτείνεται με μία μικρή προσθήκη βρωμιούχου αργύρου (χλωροβρωμιούχα γαλακτώματα), από το υπεριώδες στο μπλε, ενώ αυτή του βρωμιούχου αργύρου, με μία μικρή προσθήκη ιωδιούχου αργύρου (ιωδοβρωμιούχα γαλακτώματα), από το μπλε στο πράσινο [26, 30].

Η ενίσχυση της φασματικής ευαισθησίας των φωτογραφικών γαλακτωμάτων γίνεται με τη χρήση ουσιών που ονομάζονται βαφές και απορροφούν στην περιοχή των επιθυμητών μηκών κύματος. Τα γαλακτώματα, τα ευαίσθητα από το μπλε έως το πράσινο – κίτρινο ονομάζονται ορθοχρωματικά, τα ευαίσθητα σε όλη την περιοχή του ορατού φάσματος πανχρωματικά, ενώ η δυνατή ανακτώμενη ευαισθησία σταματά περίπου στα 1300 nm.

Οι ευαισθητοποιητικές βαφές ανήκουν συνήθως στην τάξη των πολυμεθινών. Οι τρεις μεγάλες υποκατηγορίες είναι οι κυανίνες, - που είναι και οι πιο συνηθισμένες -, οι μεροκυανίνες και οι οξονόλες. Οι βαφές είναι ουσίες με μεγάλη εκλεκτικότητα (πολύ υψηλές σταθερές απορρόφησης σε ζώνες μικρού εύρους) και πολύ μικρότερου εύρους απαγορευμένη ζώνη. Άμα την απορρόφηση της επιθυμητής ακτινοβολίας διεγείρονται πολύ αμεσότερα και μεταφέρουν ενέργεια στο αλογονίδιο του αργύρου, στο οποίο από αυτό το σημείο και έπειτα λαμβάνουν χώρα οι διαδικασίες που αναφέρθησαν στο σχηματισμό της λανθάνουσας εικόνας [26, 30].

1.4.5. Χημεία Φωτογραφικής Διαδικασίας

Τα βασικά στάδια της φωτογραφικής διαδικασίας είναι η εμφάνιση και τα στάδια επεξεργασίας που έπονται της εμφάνισης.

1.4.5.1. Εμφάνιση

Η διαδικασία της εμφάνισης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, συνεχίζει την επίδραση του φωτός μετατρέποντας τους εκτιθέμενους κρυστάλλους των αλογονιδίων του αργύρου σε μαύρο μεταλλικό άργυρο [30].

Η χημική αντίδραση της εμφάνισης θα μπορούσε να περιγραφεί από την ακόλουθη χημική εξίσωση [30]:



Οι εμφανιστές συγκαταλέγονται, από χημικής απόψεως, στην τάξη των αναγωγικών παραγόντων. Πολύ λίγοι αναγωγικοί παράγοντες είναι τόσο

εκλεκτικοί, ώστε να μπορούν να διακρίνουν τους εκτεθειμένους κρυστάλλους από τους μη εκτεθειμένους. Για τους αρκούντως εκλεκτικούς αναγωγικούς παράγοντες, η διάκριση μεταξύ εκτεθειμένων και μη εκτεθειμένων κρυστάλλων γίνεται έμμεσα με βάση το ρυθμό της διαδικασίας της εμφάνισης, τουτέστιν δεν είναι ότι οι μη εκτεθειμένοι κρύσταλλοι δεν 'εμφανίζονται', αλλά ότι οι εκτεθειμένοι 'εμφανίζονται' πολύ – πολύ γρηγορότερα. Γενικά, η ποσότητα των μη εκτεθειμένων κρυστάλλων που 'εμφανίζονται' είναι μικρή και καλείται χημική ομίχλη. Ειδικότερα και συνεκδοχικά από τα παραπάνω ο χρόνος της εμφανιστικής διαδικασίας διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο, αφού σε ιδιαίτερα παρατεταμένες εμφανιστικές διαδικασίες, όλοι οι κρύσταλλοι θα 'εμφανιστούν', με αποτέλεσμα την απώλεια του φωτογραφικού αποτυπώματος [30].

Οι περισσότεροι από τους γνωστούς εμφανιστές είναι οργανικά συστατικά, αρωματικά, συνήθως παράγωγα της βενζίνης. Πρόκειται, τυπικά, για φαινόλες ή αμίνες με τουλάχιστον είτε δύο υδροξυλομάδες ή αμινομάδες είτε μία υδροξυλομάδα και μία αμινομάδα [22, 23].

Οι πιο συνήθεις εμφανιστές είναι οι εξής [22, 23]:

- η 1,4 - διυδροξυβενζίνη ή υδροκινόνη (1,4 - dihydroxybenzene, hydroquinone)
- το μετόλ ή μετόλη ή ελόνη (metol, elon)
- η 1, 2, 3 – τριυδροξυβενζίνη (1, 2, 3 – trihydroxybenzene)
- η παρα – αμινοφαινόλη (p – aminophenol)
- η διαμινοφαινόλη ή αμιντόλη (diaminophenol, amidol)
- η φαινιδόνη ή 1- φαινυλο – 3 – πυραζολιδόνη (phenidone, 1-phenyl-3-pyrazolidon).

Στην πράξη, οι εμφανιστές συνήθως περιέχουν και τα εξής επιπλέον συστατικά [26, 32]:

1. ένα άλκαλι (επιταχυντής), συνήθως υδροξείδιο του νατρίου ή καλίου, ανθρακικό νάτριο ή κάλιο, τετραβόρακας, προς διατήρηση του pH σε σταθερή τιμή
2. ένα εύκολα οξειδούμενο θειώδες (συνήθως θειώδες νάτριο), το οποίο δρα ως συντηρητικό του εμφανιστή έναντι της οξείδωσής του από τον αέρα
3. ένα ή περισσότερα αντιομιχλώδη (antifoggants) ή επιβραδυντικά, όπως είναι το βρωμιούχο κάλιο και η βενζοτρίαζόλη, τα οποία καθυστερούν την εμφάνιση των μη εκτεθειμένων περιοχών του γαλακτώματος έναντι των εκτεθειμένων περιοχών, καθιστώντας ευκρινέστερη τη διάκριση μεταξύ των δύο.

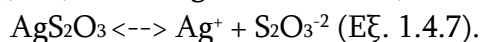
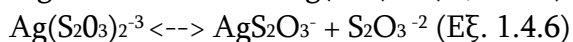
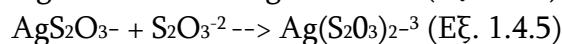
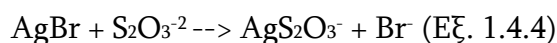
1.4.5.2. Μετα – εμφανιστικά στάδια επεξεργασίας

Μετά την εμφάνιση είναι απαραίτητο να σταματήσει η διαδικασία αυτής, ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο της ομιχλίας (fog). Το διάλυμα που χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται μπάνιο σταματήματος (stop bath). Επειδή οι εμφανιστές είναι δραστικοί σε σχετικά υψηλά pH (αλκαλικό περιβάλλον), τυπικά το μπάνιο σταματήματος είναι ένα διάλυμα οξικού οξέος ή

κάποιου άλλου ασθενούς οξέος [26] (κιτρικό οξύ [33]). Το μπάνιο σταματήματος δεν σταματά μόνο την περαιτέρω δράση του εμφανιστή, εξουδετερώνει επιπλέον και τα περιεχόμενα σε αυτόν αλκάλια, τα οποία δύναται να προσβάλλουν το στερεωτή. Εναλλακτικά, πολλοί φωτογράφοι χρησιμοποιούν τρεχούμενο νερό, η δραστηριότητα και η αποτελεσματικότητα του οποίου δεν είναι εφάμιλλες με αυτές του όξινου μπάνιου σταματήματος [33].

Μετά και το μπάνιο σταματήματος, μία μεγάλη ποσότητα μη εκτεθειμένων ή μη εμφανισμένων αλογονιδίων του αργύρου παραμένει στο γαλάκτωμα. Εάν αυτή η ποσότητα κρυστάλλων αργύρου δεν αφαιρεθεί, ελλοχεύει ο κίνδυνος, σε περίπτωση έκθεσης του γαλακτώματος σε ακτινοβολία κατάλληλου μήκους κύματος, η εικονογραφική πληροφορία να χαθεί αναντίστρεπτα. Η ουσία που επιφορτίζεται με τη διασφάλιση της μονιμότητας της εικόνας ονομάζεται στερεωτής (fixer) και το αυτό στάδιο της φωτογραφικής διαδικασίας, στερέωση (fixing process). Ο στερεωτής μετατρέπει τα ελάχιστα διαλυτά στο νερό αλογονίδια του αργύρου σε διαλυτά σύμπλοκα, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να αφαιρεθούν μέσω πλυσίματος. Το θειοθειικό νάτριο, ή, κοινώς λεγόμενο, hypo, χρησιμοποιείται προς τούτο το σκοπό από το 1839 [25].

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία της στερέωσης μπορούν να γραφούν ως ακολούθως [25]:



Ο στερεωτής μπορεί να καταστεί ελαφρά όξινος μέσω της προσθήκης ενός θειώδους (π.χ. θειώδες νάτριο [30]), ώστε να αποτραπεί η προσβολή του από πιθανά υπολείμματα εμφανιστή που έχει καταστροφικά αποτελέσματα για το στερεωτή, αφού μπορεί να το διασπάσει σε θειώδες και περαιτέρω σε θείο, αίροντας τη στερεωτική του λειτουργικότητα [26, 33].

Το τελευταίο στάδιο της φωτογραφικής διαδικασίας, όπως έχει ήδη προδηλωθεί, συνίσταται σε πλύσιμο με νερό. Το στάδιο αυτό παίζει κρισιμότητα ρόλο, καθώς αποσκοπεί όχι μόνο στην απομάκρυνση των μη εκτεθειμένων ή μη εμφανισμένων κρυστάλλων αργύρου, αλλά και στην απομάκρυνση του υπόλοιπου θειοθειικού νατρίου. Το απομένον θειοθειικό νάτριο επιτείνει την οξειδωση του αργύρου από τον αέρα, ενώ αποσυντιθέμενο δύναται να σχηματίσει κίτρινο ή καφέ θειούχο άργυρο (Ag_2S) [26].

1.4.6. Φθορά υλικού σχηματισμού εικόνας

Οι μαυρόασπρες αργυρούχες εικόνες είναι εξαιρετικά σταθερές, εφόσον φυλάσσονται σε κατάλληλες συνθήκες. Η φθορά τους, μόνο χημική σε αυτή την περίπτωση, άπτεται εν μέρει των συνθηκών αυτών και εν μέρει της ανεπαρκούς ή κακής επεξεργασίας τους [11].

1.4.6.1. Ανεπαρκής ή κακή επεξεργασία

– Παρατεταμένη εμφανιστική διαδικασία ή ελλιπής εμφανιστική διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των αντιθέσεων (άσπρο-μαύρο) στην εικόνα, καθώς και την παρουσία σε αυτή ενδιάμεσων χρωματικών τόνων (γκρι).

– Μπάνιο σταματήματος της δράσης του εμφανιστή με νερό και όχι με οξύ είναι πιθανόν να αφήσει υπολείμματα εμφανιστή στην εικόνα. Ο εμφανιστής συνεχίζει τη δράση του μειώνοντας τις αντιθέσεις στην εικόνα και αμαυρώνοντάς την ολοένα και περισσότερο, ενώ, και ειδικά στην περίπτωση, που, γι' αυτόν ακριβώς το λόγο, ο στερεωτής δεν έχει καταστεί όξινος μπορεί να προσβάλλει και το στερεωτή. Ο εμφανιστής προσβάλλοντας το στερεωτή, άρει τη λειτουργικότητά του, καθιστώντας την εικόνα ιδιαίτερα ευάλωτη στην επίδραση του φωτός (περαιτέρω αμαύρωση), ενώ δύναται να το διασπάσει σε θειώδες και περαιτέρω σε θείο, με επιπλέον συνέπεια το σχηματισμό καφέ ή κίτρινου θειούχου αργύρου.

– Ανεπαρκής στερέωση έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση ενός βαθμού φωτοευαισθησίας στην εικόνα, έτσι που η εικόνα, αν εκτεθεί για κατάλληλο χρόνο σε φως κατάλληλου μήκους κύματος και κατάλληλης έντασης, αμαυρώνεται.

– Ανεπαρκές τελευταίο πλύσιμο με νερό, προς απομάκρυνση του θειοθειικού νατρίου (hygro), έχει ως αποτέλεσμα την κατάλυση της οξειδωσης του αργύρου από τον αέρα, εξαιτίας του απομένουτος θειοθειικού νατρίου, και το σχηματισμό καφέ ή κίτρινου θειούχου αργύρου, εξαιτίας της αποσύνθεσης αυτού [26, 30, 33].

1.4.6.2. Περιβαλλοντικές συνθήκες

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, στην πλειοψηφία τους οξειδωτικοί παράγοντες, όπως υπεροξείδια, οξείδια του αζώτου, όζον, διοξείδια του θείου και υδρόθειο, αντιδρούν με τις μαυρόασπρες φωτογραφίες και προκαλούν τον αποχρωματισμό τους. Άλλοτε ο μεταλλικός άργυρος οξειδώνεται προς άχρωμα ιόντα αργύρου (συνολικό ξεθώριασμα) και άλλοτε ιόντα αργύρου οξειδώνονται είτε προς μεταλλικό άργυρο (αμαύρωση) είτε προς ενώσεις με διάφορες αποχρώσεις, όπως είναι ο, καφέ ή κίτρινος, θειούχος άργυρος.

Ο βαθμός της φθοράς που μπορεί να προκληθεί εξαρτάται κυρίως από τη σχετική υγρασία, καθώς χωρίς την ύπαρξη νερού, ακόμα και οι πιο ισχυροί ρυπαντές δε θα είχαν ιδιαίτερη επίδραση στον άργυρο [11].

2. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

2.1. ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΑΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

2.1.1. Ορισμός μακροφωτογραφίας

Ως μακροφωτογραφία (macro-photography) νοείται η φωτογράφιση πρώτου πλάνου (close-up photography) ή κατά το λαϊκότερον μία φωτογράφιση που λαμβάνει χώρα από πολύ κοντά. Επειδή ακριβώς με βάση έναν τέτοιο ορισμό δε δίνεται καμία απολύτως διάσταση του ‘πολύ κοντά’, η μακροφωτογραφία είθισται να ορίζεται σε συνάρτηση με το λόγο της μεγέθυνσης του φωτογραφιζόμενου αντικειμένου ως προς τις διαστάσεις του προβαλλόμενου, στο επίπεδο του φιλμ ή του ψηφιακού αισθητήρα (αναλογική και ψηφιακή μακροφωτογραφία αντίστοιχα), αντικειμένου. Ο λόγος αυτός ουσιαστικά συγκρίνει το πραγματικό μέγεθος του εκάστοτε φωτογραφιζόμενου αντικειμένου με αυτές του, στο φιλμ ή στον ψηφιακό αισθητήρα, αποτυπωμένου αντικειμένου. Όταν το μέγεθος του αποτυπωμένου, στο φιλμ ή στον ψηφιακό αισθητήρα, αντικειμένου είναι αντίστοιχο του πραγματικού μεγέθους του αντικειμένου, τότε ο εν λόγω λόγος μεγέθυνσης ισούται με 1:1 (life size magnification ratio), ενώ όταν για παράδειγμα είναι το μισό του πραγματικού μεγέθους του αντικειμένου ο λόγος μεγέθυνσης ισούται με 1:2 [53].

2.1.2. Αποκατάσταση ορολογικής αμφισημίας

Κρίνεται σκόπιμο να διασαφηνιστούν ορισμένα ‘λεπτά’ θεωρητικά σημεία που αφορούν στη μέθοδο της μακροφωτογραφίας, τα οποία πολλές φορές προκαλούν σύγχυση ως προς το ακριβές, τελικά, θεωρητικό πλαίσιο της μεθόδου.

2.1.2.1. Macro-, macromode- και micro- φακοί

Το μεγαλύτερο κομμάτι της σύγχυσης αυτής προκαλείται από την ποικιλία των χρησιμοποιούμενων φωτογραφικών φακών, αλλά και από το αυθαίρετο, πολλές φορές, καθεστώς ονομασίας τους.

Έτσι, ως μάκρο-φακοί (macro lens) ή ως πραγματικοί μάκρο-φακοί (true macro lens), όπως συνηθίζεται να λέγεται, ορίζονται οι φακοί εκείνοι που μπορούν να αποδώσουν ελάχιστο λόγο μεγέθυνσης 1:1 και μέγιστο λόγο μεγέθυνσης μέχρι και 22:1. Ως φακοί με δυνατότητα ρύθμισης μάκρο- (macromode lens) ορίζονται οι φακοί εκείνοι που μπορούν αποδώσουν ελάχιστο λόγο μεγέθυνσης 1:10 και μέγιστο λόγο μεγέθυνσης 1:1, ενώ, τέλος και αναντίστοιχα με το γενικό ορισμό της μακροφωτογραφίας, ως μικρο-φακοί (micro lens) ορίζονται, από μερικές εταιρείες παραγωγής φωτογραφικού εξοπλισμού (π.χ. Nikon), οι πραγματικοί μάκρο-φακοί (true macro lens) [54, 55, 56].

2.1.2.2. Μακροφωτογραφία – μικροφωτογραφία

Η μακροφωτογραφία, δικαίως πολλές φορές και λόγω των προαναφερομένων, συγγέεται με τη μέθοδο της μικροφωτογραφίας, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση μικροσκοπίου και αποδίδει ασύγκριτα μεγαλύτερους λόγους μεγέθυνσης.^{54, 55, 56}

2.1.3. Εφαρμογές μακροφωτογραφίας

Η μέθοδος της μακροφωτογραφίας βρίσκει την προσφιλέστερη και πιο ευρεία εφαρμογή της στη φωτογράφιση φύσης, ενώ αποτελεί εξαιρετικά χρηστικό και συναρπαστικό εργαλείο για κάθε λάτρη της φωτογραφίας [57].

2.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

2.2.1. Αρχή της μεθόδου

Οι οπτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούν φως αντί ηλεκτρικού ρεύματος ως φορέα των σημάτων και οπτικές ίνες αντί μεταλλικών αγωγών για την μετάδοση του. Η οπτική μετάδοση έχει αρχίσει να αντικαθιστά την ηλεκτρική μετάδοση ιδιαίτερα στις τηλεπικοινωνίες. Αυτό οφείλεται στο χαμηλότερο κόστος της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται στις οπτικές ίνες (γυαλί, δηλ. οξείδιο του πυριτίου) και στην ανεξάντλητη διαθεσιμότητά του σε σχέση με το χαλκό. Πρόκειται για σύνθετα υλικά (που περιέχουν βόριο και πυρίτιο), με δομή τέτοια που επιτρέπει την κατευθυνόμενη διάδοση του φωτός. Επίσης, από τεχνικής πλευράς οι οπτικές ίνες έχουν τεράστιο εύρος ζώνης (συχνότητες τάξης THz), ελάχιστη απόσβεση (<0,2 Db/km), δεν εμφανίζουν διαφωνία μεταξύ τους ή άλλες ηλεκτρομαγνητικές παρενοχλήσεις και είναι μικρές σε όγκο και βάρος ($\approx 0,5\text{mm}$ με το περίβλημα, $\approx 28\text{gr/km}$).

Η οπτική ίνα αποτελείται από υαλώδη κυλινδρικό πυρήνα και περίβλημα από το ίδιο υλικό με ελαφρά μικρότερο δείκτη διάθλασης από αυτόν του πυρήνα. Αυτό έχει σαν συνέπεια, όταν η ακτίνα του φωτός εισέρχεται στην ίνα υπό κατάλληλη γωνία να ανακλάται διαδοχικά στο περίβλημα και να μεταδίδεται παγιδευμένη στην ίνα [47].

2.1.2. Εφαρμογές της μικροσκοπίας οπτικών ινών

Η μικροσκοπία οπτικών ινών αποτελεί νέα μέθοδο για την εξέταση των επιφανειών, η οποία βρίσκεται ακόμα στη φάση της ερμηνείας και της προτυποποίησης. Έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο επιστήμης και τεχνικής των υλικών, για την επί τόπου αναγνώριση των τύπων της φθοράς, την εκτίμηση των αποτελεσμάτων εφαρμογών μεθόδων συντήρησης, καθαρισμού και προστασίας επιφανειών. Επίσης, χρησιμοποιείται για την αρχική εκτίμηση της μικροδομής του υλικού (μεγέθυνση έως και $\times 600$), την επί τόπου

παρατήρηση σύνθετων υλικών (κονίαμα, χαρτί, κ.ά.), διεπιφανειακών φαινομένων, κ.λ.π. Από τις εφαρμογές της μεθόδου μικροσκοπίας οπτικών ινών, στο εργαστήριο επιστήμης και τεχνικής των υλικών, προκύπτει επιπλέον η συμπληρωματικότητα της μεθόδου με τη μέθοδο της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας στα πλαίσια της χαρτογράφησης της φθοράς και της αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες [47].

2.2.3. Πειραματική διάταξη

Ένα από τα πλεονεκτήματα της μικροσκοπίας οπτικών ινών (FOM: Fiber Optic Microscopy) είναι ότι το μικροσκόπιο είναι φορητή διάταξη. Αυτό επιτρέπει την επί τόπου εξέταση της επιφάνειας που μας ενδιαφέρει (π.χ. ολόκληρη η επιφάνεια ενός ιστορικού συνόλου) χωρίς να απαιτείται η προκατεργασία ή αλλοίωση των υλικών, πρόκειται δηλαδή για μη καταστρεπτική μέθοδο (NDT: non-destructive technique) [47].

Τα κυριότερα τμήματα της συσκευής είναι τα εξής [47]:

- Λάμπα αλογόνου που λειτουργεί στα 100W.
- Έλεγχος έντασης φωτός. Η ποσότητα φωτός που ανακλάται από το αντικείμενο εξαρτάται από το χρώμα και το υλικό του αντικειμένου. Το μικροσκόπιο αυτόματα προσαρμόζει την ένταση του φωτός της λάμπας, έτσι ώστε να υπάρχει ένα σταθερό επίπεδο φωτεινότητας στην λαμβανόμενη εικόνα.
- Σύστημα εστίασης.
- Αντικειμενικοί φακοί. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής μπορεί να αλλάξει κανείς περισσότερους φακούς για να πάρει εικόνες διαφορετικών μεγεθύνσεων. Οι φακοί συνδέονται στο σύστημα μετάδοσης της εικόνας μέσω οπτικών ινών.

Κατά τη διαδικασία της μικροσκοπικής εξέτασης το φως πρέπει να πέφτει κατακόρυφα στην επιφάνεια του δείγματος και ανακλάται πίσω διαμέσου των αντικειμενικών φακών. Χαρακτηριστικά της επιφάνειας, σε θέσεις πλάγιες σχετικά με τη δέσμη φωτός συνεπάγονται απώλειες φωτός. Τέλος, το μικροσκόπιο οπτικών ινών επιτρέπει την εισαγωγή της εικόνας σε υπολογιστή και κατ' επέκταση σε σύστημα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, παρέχοντας περαιτέρω δυνατότητες επεξεργασίας [47].

2.3. ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ

2.3.1. Έννοια και περιγραφή του χρώματος

Ως χρώμα μπορεί να οριστεί το αποτέλεσμα του οπτικού ερεθισμού, ο οποίος προκαλείται από μια ακτινοβολία ορισμένης φασματικής κατανομής ισχύος σε τυχαίο παρατηρητή. Όταν ένα αντικείμενο έχει την ιδιότητα να απορροφά ένα μέρος της προσπίπτουσας σε αυτό ακτινοβολίας και να ανακλά κάποιο άλλο,

επιτρέποντας έτσι στον παρατηρητή να δει ένα μέρος του ορατού φάσματος, δημιουργεί την αίσθηση του χρώματος και εμφανίζεται έτσι έγχρωμο. Όταν το σώμα φωτίζεται με λευκό φως, τότε, στην περίπτωση που απορροφάται όλη η προσπίπτουσα ακτινοβολία, το αντικείμενο εμφανίζεται μαύρο, ενώ αν ανακλάται πλήρως, λευκό. Πρέπει να τονιστεί και η σημασία του φασματικού περιεχομένου της πηγής: εάν ένα λευκό σώμα φωτιστεί με μονοχρωματική ακτινοβολία τότε, προφανώς, θα εμφανιστεί για τον παρατηρητή να έχει μόνον το χρώμα που αντιστοιχεί στην προσπίπτουσα ακτινοβολία. Το ίδιο το χρώμα λοιπόν, δεν είναι εγγενής ιδιότητα του αντικειμένου, σε αντίθεση με την ικανότητά του να απορροφά συγκεκριμένο τμήμα ακτινοβολίας του ορατού φάσματος. Η εμφάνιση του χρώματος ενός υλικού απαιτεί από φυσική άποψη την ύπαρξη μιας φωτεινής πηγής, ενός αντικειμένου, που αλληλεπιδρά με την προσπίπτουσα ακτινοβολία, και ενός παρατηρητή, ο οποίος θα προσλάβει και θα επεξεργαστεί την ακτινοβολία της πηγής που δεν απορροφήθηκε από το σώμα και διαδόθηκε μέχρι τον παρατηρητή. Ο παρατηρητής μπορεί να είναι είτε ο άνθρωπος με το μάτι και τον εγκέφαλό του είτε κάποιο όργανο (φασματοφωτόμετρο) με τον ανιχνευτή του. Όπως ο κάθε ανιχνευτής, έτσι και ο άνθρωπος έχει τη δική του απόκριση στα διάφορα μήκη κύματος. Συνεπώς, όταν αναφερόμαστε στο χρώμα, η χρήση απόλυτων φυσικών μεγεθών δεν είναι ενδεικνυόμενη και η χρήση χρωματομετρικών μεγεθών – που λαμβάνουν υπόψη τους τη φασματική απόκριση του ανθρώπινου οφθαλμού – είναι απαραίτητη.

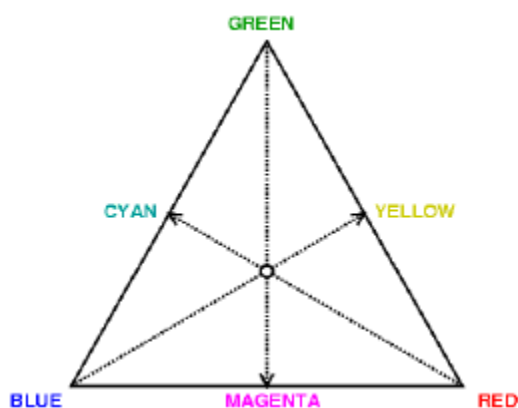
Χαρακτηριστικά του χρώματος, τα οποία διακρίνει το ανθρώπινο μάτι αποτελούν η απόχρωση, ο κορεσμός και η φωτεινότητα. Η απόχρωση καθορίζει αν το χρώμα εμφανίζεται κόκκινο, πράσινο, κίτρινο κλπ. και αντικειμενικά χαρακτηρίζεται από το επικρατέστερο μήκος κύματος, που μετά από ανάκλαση ή διέλευση μέσω του σώματος φθάνει στον παρατηρητή. Ο κορεσμός καθορίζει σε ποιο βαθμό ένας χρωματικός ερεθισμός διαφέρει από τον αχρωματικό ερεθισμό, δηλαδή σε ποιο βαθμό το εμφανιζόμενο χρώμα είναι καθαρό ή περιέχει και ποσοστό λευκού, γκριζου ή μαύρου. Τέλος, η φωτεινότητα περιγράφει τη θέση του χρώματος σε μια κλίμακα μαύρου – λευκού και προσδιορίζει την ποσότητα φωτός που ανακλάται από το έγχρωμο αντικείμενο (σκούρο – ανοικτό χρώμα). Τα τρία αυτά χαρακτηριστικά αποτελούν τις τρεις συντεταγμένες του χρώματος στα διάφορα συστήματα περιγραφής. Η απόχρωση και ο κορεσμός βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, ενώ η φωτεινότητα είναι άνυσμα κάθετο σε αυτό [51].

2.3.2. Χρωματομετρικά συστήματα RGB και CIE / XYZ

Από τις αρχές του 19ου αιώνα άρχισε μια προσπάθεια αντικατάστασης των γενικών και αορίστων εκφράσεων που χρησιμοποιούντο στην περιγραφή ενός χρώματος από άλλες οι οποίες είναι καθορισμένες και σταθερές και υπακούουν σε κανόνες και αριθμούς. Έτσι προέκυψε ο κλάδος της χρωματομετρίας, ο οποίος έχει ως αντικείμενο τον αριθμητικό προσδιορισμό του χρώματος ενός

ορατού χρωματικού ερεθισμού από παρατηρητή με φυσιολογική όραση και κάτω από απολύτως καθορισμένες συνθήκες παρατήρησης.

Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι ένα πλήθος χρωματικών ερεθισμών μπορεί να παραχθεί από την ανάμιξη τριών πρωταρχικών βασικών ερεθισμών. Ενός ερυθρού (R), ενός πράσινου (G) και ενός μπλε (B) με μήκος κύματος 700 nm, 546,1 nm, και 435,8 nm αντίστοιχα. Στο χρωματικό τρίγωνο του Maxwell (σχήμα 3.1) ή αλλιώς και διάγραμμα χρωματικότητας αναπαριστάται η χρωματική ανάμιξη. Κατά μήκος των πλευρών του ισόπλευρου τριγώνου συναντώνται μίγματα μόνο δύο πρωταρχικών χρωματικών ερεθισμών, σε κάθε πιθανή αναλογία, έτσι ώστε το κάθε βασικό χρώμα σταδιακά να ενώνεται με το επόμενο. Καθώς κατευθυνόμαστε από τη μια πλευρά προς το κέντρο, υπεισέρχεται και ο τρίτος πρωταρχικός ερεθισμός, εξασθενίζοντας το χρώμα και καταλήγοντας τελικά στο αληθινό λευκό στο κέντρο ακριβώς του τριγώνου, όπου τα τρία βασικά χρώματα βρίσκονται σε ίσες αναλογίες [51].



Σχ. 2.3.1. Το χρωματικό τρίγωνο του Maxwell [51]

Η θέση του χρωματικού σημείου ενός χρωματικού ερεθισμού Q στο διάγραμμα χρωματικότητας ορίζεται από τρεις συντεταγμένες r_Q , g_Q , b_Q τις συντεταγμένες χρωματικότητας, που είναι οι αποστάσεις του χρωματικού σημείου από τις πλευρές του τριγώνου. Οι συντεταγμένες χρωματικότητας συνδέονται με τις τιμές των πρωταρχικών ερεθισμών R_Q , G_Q , B_Q με τις παρακάτω εξισώσεις [51]:

$$r_Q = R_Q / R_Q + G_Q + B_Q, \quad g_Q = G_Q / R_Q + G_Q + B_Q, \quad b_Q = B_Q / R_Q + G_Q + B_Q \quad (\text{Εξ.2.3.1}).$$

Προκύπτει λοιπόν ότι: $r_Q + g_Q + b_Q = 1$, σχέση που δείχνει ότι για τον ορισμό του χρωματικού σημείου ενός ερεθισμού αρκεί η γνώση των δύο εκ των τριών συντεταγμένων χρωματικότητας.

Ωστόσο, το χρωματικό τρίγωνο του Maxwell παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα. Αν προσπαθήσει κανείς να αντιστοιχίσει τα σημεία στις πλευρές του τριγώνου, όπου βρίσκονται και οι πιο κορεσμένοι (καθαροί) συνδυασμοί των πρωταρχικών ερεθισμών, στις ισοδύναμες καθαρές φασματικές αποχρώσεις (μεταξύ 380 nm και 700 nm), διαπιστώνει, ότι ενώ ταιριάζουν απόλυτα στην απόχρωση, δεν ταιριάζουν στον κορεσμό. Με άλλα λόγια, τα φασματικά

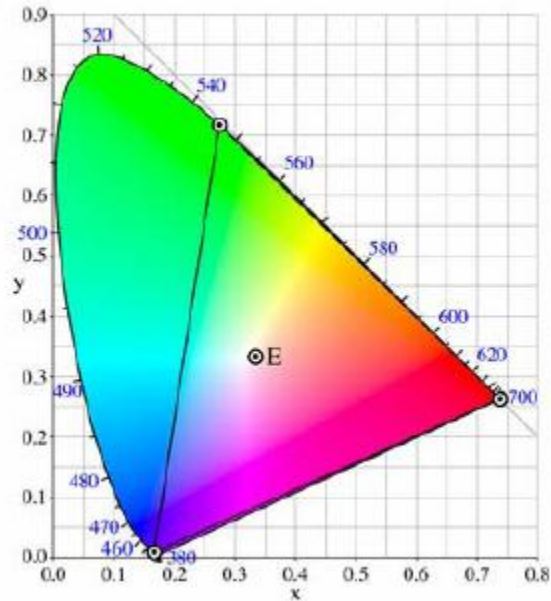
χρώματα, εκτός από τα πρωταρχικά ερυθρό, μπλε και πράσινο, δεν ανήκουν στο διάγραμμα χρωματικότητας [51].

Η αύξηση του κορεσμού του χρώματος που βρίσκεται σε μια πλευρά του τριγώνου (π.χ. κυανό), ώστε να συμπέσει με το αντίστοιχο φασματικό μπορεί να επιτευχθεί με αφαίρεση του τρίτου πρωταρχικού ερεθισμού (π.χ. ερυθρού), με αποτέλεσμα αυτό να μετακινείται έξω από τα όρια του τριγώνου. Μαθηματικά αυτό αντιστοιχεί σε αρνητικές τιμές των συντεταγμένων χρωματικότητας, γεγονός ιδιαίτερα προβληματικό στις αριθμητικές εφαρμογές. Για το λόγο αυτό, προσδιορίστηκε μια νέα ομάδα «φανταστικών» πρωτευόντων χρωμάτων, με νέες συντεταγμένες χρωματικότητας x , y , z , οι οποίες παίρνουν πάντοτε θετικές τιμές μεταξύ 380 nm και 700 nm, και αντιστοιχούν σε ένα μη υπαρκτό στην πραγματικότητα χρωματομετρικό σύστημα, το XYZ της CIE (Commission Internationale de L' Eclairage) (1931). Οι συντεταγμένες χρωματικότητας x , y , z συνδέονται με τις τριερεθισμικές τιμές X , Y , Z με τις σχέσεις [51]:

$$x = X / (X + Y + Z), y = Y / (X + Y + Z), z = Z / (X + Y + Z) \text{ (Εξ.2.3.2)}$$

$$x + y + z = 1 \text{ (Εξ. 2.3.3).}$$

Η τριερεθισμική τιμή Y είναι γνωστή και ως παράγων φωτεινότητας και συμβατικά το τέλει λευκό που ανακλά το 100% της ακτινοβολίας σε όλα τα μήκη κύματος έχει $Y=100$. Η γραφική παράσταση της συντεταγμένης x συναρτήσει της y δίνει το διάγραμμα χρωματικότητας, δηλαδή ένα γεωμετρικό τόπο σε σχήμα οπλής αλόγου, μέσα στον οποίο μπορεί να παρασταθεί ένα χρώμα κατά CIE. Πάνω στο περίγραμμα του διαγράμματος βρίσκονται τα χρώματα του φάσματος. Ένα τέτοιο διάγραμμα είναι δισδιάστατο και λαμβάνει υπόψη μόνο την απόχρωση και τον κορεσμό και όχι τις τιμές φωτεινότητας (σχήμα 3.2). Αν στο διάγραμμα χρωματικότητας xy ληφθεί υπόψη και ο άξονας του παράγοντα φωτεινότητας Y του χρώματος, μπορεί να κατασκευαστεί ένας τρισδιάστατος χρωματικός χώρος κατά CIE. Το ανθρώπινο μάτι όμως δεν ανταποκρίνεται το ίδιο σε όλα τα χρώματα, παρουσιάζοντας μεγάλη ευαισθησία σε ορισμένες περιοχές του χρωματικού χώρου ενώ σε άλλες δε διακρίνει εύκολα μικρές χρωματικές διαφορές. Έτσι, η απόσταση μεταξύ δύο σημείων στο διάγραμμα χρωματικότητας δεν αντιστοιχεί στην οπτική διαφορά μεταξύ των αντίστοιχων χρωμάτων και ο χρωματικός χώρος XYZ χαρακτηρίζεται από ανομοιογένεια [51].



Σχ. 2.3.2. Διάγραμμα χρωματικότητας CIE (1931) [51]

2.3.3. Ο χρωματικός χώρος CIELAB (1976)

Η ανομοιογένεια του χρωματικού χώρου CIE, η συσχετιζόμενη με τη χρωματική διακριτικότητα του ανθρώπινου οφθαλμού, οδήγησε πολλούς ερευνητές στην αναζήτηση ενός ενιαίου, από χρωματική άποψη, χώρου, όπου ίσες αποστάσεις μεταξύ δύο σημείων θα αντιστοιχούν στην ίδια χρωματική διαφορά. Ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα είναι το CIELAB ή $L^* a^* b^*$ (σχήμα 3.3) το οποίο εισήγαγε το 1976 η CIE. Στο χρωματικό αυτό χώρο το L^* παριστάνει τη φωτεινότητα (λαμπρότητα) και μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 100, το a^* τη θέση του χρωματικού ερεθισμού στον άξονα ερυθρού (θετικές τιμές) – πράσινου (αρνητικές τιμές) και το b^* τη θέση στον άξονα κίτρινου (θετικές τιμές)– μπλε (αρνητικές τιμές). Τα a^* και b^* , που έμμεσα εκφράζουν τον κορεσμό και τη χροιά, μπορούν να πάρουν τιμές από περίπου -80 έως 80.

Οι ποσότητες L^* , a^* και b^* προσδιορίζονται ως εξής [51]:

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \text{ (Εξ. 2.3.4),}$$

$$\text{εάν } Y/Y_n > 0.008856 \text{ (Εξ. 2.3.5)}$$

ή

$$L^* = 903.3(Y/Y_n) \text{ (Εξ. 2.3.6),}$$

$$\text{εάν } Y/Y_n \leq 0.008856 \text{ (Εξ. 2.3.7),}$$

$$a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \text{ (Εξ. 2.3.8),}$$

$$b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \text{ (Εξ. 2.3.9),}$$

$$\text{όπου } \underline{f(X/X_n)} = (X/X_n)^{1/3} \text{ (Εξ. 2.3.10),}$$

$$\text{εάν } \underline{X/X_n > 0.008856} \text{ (Εξ. 2.3.11)}$$

ή

$$\underline{f(X/X_n)} = 7,87(X/X_n) + 16/116 \text{ (Εξ. 2.3.12),}$$

$$\text{εάν } X/X_n \leq 0.008856 \text{ (Εξ. 2.3.13),}$$

$$\underline{f(Y/Y_n)} = (Y/Y_n)^{1/3} \text{ (Εξ. 2.3.14),}$$

$$\text{εάν } \underline{Y/Y_n > 0.008856} \text{ (Εξ. 2.3.15)}$$

ή

$$\underline{f(Y/Y_n)} = 7,87(Y/Y_n) + 16/116 \text{ (Εξ. 2.3.16),}$$

$$\text{εάν } \underline{Y/Y_n \leq 0.008856} \text{ (Εξ. 2.3.17)}$$

και

$$\underline{f(Z/Z_n)} = (Z/Z_n)^{1/3} \text{ (Εξ. 2.3.18),}$$

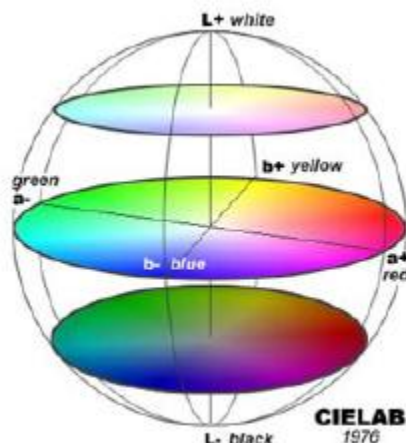
$$\text{εάν } \underline{Z/Z_n > 0.008856} \text{ (Εξ. 2.3.19)}$$

ή

$$\underline{f(Z/Z_n)} = 7,87(Z/Z_n) + 16/116 \text{ (Εξ. 2.3.20),}$$

$$\text{εάν } \underline{Z/Z_n \leq 0.008856} \text{ (Εξ. 2.3.21),}$$

όπου X_n , Y_n , και Z_n παριστάνουν τις τριερεθισμικές τιμές μιας ιδανικά λευκής επιφάνειας παρατηρούμενης με τη βοήθεια δεδομένης φωτιστικής πηγής από δεδομένο παρατηρητή. Η χρωματική χροιά h_{ab} δίνεται από τον τύπο [51]: $h_{ab} = \arctan(b^*/a^*)$ (Εξ. 2.3.22) και ο κορεσμός C_{ab} από τον τύπο: $C_{ab} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ (Εξ. 2.3.23).



Σχ. 2.3.3. Ο χρωματικός χώρος CIELAB (1976) [51]

2.3.4 Συντελεστής φασματικής ανάκλασης $R(\lambda)$

Στη βάση του υπολογισμού των τριερεθισμικών τιμών X , Y , Z βρίσκεται η φυσική παράμετρος, η καλούμενη συντελεστής φασματικής ανάκλασης $R(\lambda)$. Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το λόγο της ανακλώμενης ακτινοβολίας σε σχέση με την προσπίπτουσα σε μία χρωματισμένη επιφάνεια αν μήκος κύματος του ορατού φάσματος και είναι διαφορετικός για κάθε μήκος κύματος. Αιτία αυτής της διακύμανσης της ανακλαστικότητας σε κάθε μήκος κύματος είναι η διαφοροποίηση της ανακλώμενης από την προσπίπτουσα ακτινοβολία, η οποία οφείλεται κυρίως στο είδος και το πλήθος των χρωστικών που περιέχονται στην επιφάνεια ανάκλασης.

Πρέπει όμως να τονιστεί ότι ο συντελεστής ανάκλασης εξαρτάται επίσης και από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σώματος, από την υφή της επιφάνειας αλλά και από τη γεωμετρία φωτισμού - παρατήρησης.

Επειδή το μέλαν σώμα εξ ορισμού δεν ανακλά καμία από τις προσπίπτουσες ακτινοβολίες σε όλα τα μήκη κύματος του φάσματος του ορατού φωτός θα έχει $R(\lambda) = 0,0$, ενώ αντίθετα, η απόλυτα λευκή επιφάνεια, επειδή ανακλά το σύνολο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, θα έχει $R(\lambda)=1,0$. Κάθε άλλη κατάσταση θα εμφανίζει $R(\lambda)$ μεταξύ 0,0 και 1,0. Ο συντελεστής φασματικής ανάκλασης είναι λοιπόν ένας δεκαδικός αριθμός μεταξύ 0,0 και 1,0, ο οποίος πολύ συχνά εκφράζεται και σε ποσοστό % με το 100% της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να αντιστοιχεί, προφανώς, στην τιμή 1,0.

Το διάγραμμα διακύμανσης της έντασης του συντελεστή φασματικής ανάκλασης ανά μήκος κύματος του φάσματος δίνει την καμπύλη κατανομής φασματικής ισχύος του χρωματικού ερεθισμού. Από την καμπύλη αυτή μπορούν να προσδιορισθούν με σχετικά καλή προσέγγιση τα χρωματομετρικά μεγέθη [51].

2.3.5. Έκφραση και μέτρηση της χρωματικής διαφοράς ΔE^*_{ab}

Συχνότερη πρακτική εφαρμογή βρίσκει η μέτρηση της χρωματικής διαφοράς και η χρωματική σύγκριση ανάμεσα σε δύο αντικείμενα η οποία χαρακτηρίζεται και από μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τις απόλυτες μετρήσεις χρώματος. Στο σύστημα CIELAB η χρωματική απόσταση, δηλαδή η χρωματική διαφορά, μεταξύ δύο σημείων δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \text{ (Εξ. 2.3.24).}$$

Η διαφορά ΔE^*_{ab} έχει πάντοτε θετικές τιμές, διότι εκφράζει τη συνολική διαφορά ενός χρωματικού ερεθισμού από έναν άλλο .

Η μέτρηση της χρωματικής διαφοράς μπορεί να γίνει είτε οπτικά είτε ενόργανα. Η οπτική εκτίμηση γίνεται με τη βοήθεια κλιμάκων γνωστών ως γκρι κλιμάκων. Αυτές είναι βαθμολογημένες με 5 βαθμούς, που αντιστοιχούν σε χρωματικές διαφορές ζευγών γκρι δειγμάτων, αυξανόμενες από μηδενική (βαθμός 5) έως μέγιστη διαφορά (βαθμός 1). Ο παρατηρητής συγκρίνει τη διαφορά μεταξύ των δικών του δειγμάτων, ανεξαρτήτως χρώματος, με τις διαφορές στη γκρι κλίμακα και βαθμολογεί ανάλογα. Η ενόργανη μέτρηση είναι πιο αντικειμενική και περιγράφει μια δεδομένη χρωματική διαφορά με αριθμούς, έτσι ώστε σε ίδιους αριθμούς να αντιστοιχούν οι ίδιες οπτικές χρωματικές διαφορές. Πραγματοποιείται με τα φασματοφωτόμετρα απορρόφησης (το φως διέρχεται μέσα από την επιφάνεια) και ανάκλασης (το φως ανακλάται από την επιφάνεια) [51].

2.3.6. Εφαρμογές χρωματομετρίας

Παραδείγματα πρακτικών εφαρμογών της χρωματομετρίας συναντώνται στον εντοπισμό πλαστών εγγράφων, όπου μπορεί να διαπιστωθεί η χρήση διαφορετικών μελανιών σε διαφορετικά σημεία του εγγράφου μέσω της χρωματικής σύγκρισης.

Επίσης, οι κατασκευαστές χρωμάτων μπορούν να ελέγξουν την αντοχή των προϊόντων τους στο φως, τη θερμότητα και τη διάβρωση κάνοντας δοκιμές και καταγράφοντας τις χρωματικές αλλαγές που αυτά υφίστανται όταν εκτίθενται σε τέτοιες συνθήκες. Η ίδια μέθοδος ακολουθείται και σε ζωγραφικούς πίνακες μουσειακών συλλογών για τη διερεύνηση της επίδρασης του φωτισμού, των διαδικασιών καθαρισμού και συντήρησης αλλά και για τον έλεγχο της αυθεντικότητας. Συγκεκριμένα για τα χρώματα που χρησιμοποιούνται από τους καλλιτέχνες, το πρότυπο της ASTM, D4303, τα κατατάσσει σε κατηγορίες σταθερότητας απέναντι στο φως, ανάλογα με την τιμή της ΔE_{ab}^* που προκύπτει έπειτα από καθορισμένα τεστ γήρανσης. Έτσι, δημιουργούνται οι ακόλουθες κατηγορίες [51]:

Κατηγορία I	$\Delta E_{ab}^* \leq 4$
Κατηγορία II	$4 < \Delta E_{ab}^* \leq 8$
Κατηγορία III	$8 < \Delta E_{ab}^* \leq 16$
Κατηγορία IV	$16 < \Delta E_{ab}^* \leq 24$
Κατηγορία V	$24 < \Delta E_{ab}^*$

Επιπλέον η μέτρηση του χρώματος στα έργα ζωγραφικής τέχνης επιτρέπει τη μελέτη της επίδρασης του τρόπου προετοιμασίας, του χρώματος (χρωστικής ή βαφής), του συνδετικού μέσου και του βερνικιού στο οπτικό αποτέλεσμα [51].

2.3.7. Πειραματική διάταξη

Με βάση την αρχή της ισοδύναμης διέγερσης των R, G και B δημιουργήθηκαν τα διάφορα όργανα μέτρησης των χρωμάτων, τα οποία φυσικά βελτιώνονται με το χρόνο ή οδηγούν στη δημιουργία διαφορετικών και περισσότερο εξελιγμένων οργάνων μέτρησης, με αρχή τα τριχρωματικά χρωματόμετρα ή χρωματόμετρα τριπλής διέγερσης (Tristimulus Colormeter).

Τα νεότερα και βελτιωμένα όργανα παίρνουν τις απορροφήσεις σε συγκεκριμένα μήκη κύματος δίνοντας αποτελέσματα των χρωματικών παραγόντων ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο χρωματικό μοντέλο π.χ. CIE Lab. Ένα τέτοιο χρωματόμετρο είναι αυτό που φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί [52]:



Σχ. 2.3.4. Χρωματόμετρο τριπλής διέγερσης

Παρόλο ότι οι αισθητήρες των χρωματόμετρων με την βοήθεια ειδικών φίλτρων προσομοιάζουν την λειτουργία του ανθρώπινου οφθαλμού οι μετρήσεις γίνονται με προκαθορισμένη φωτεινή πηγή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι συνθήκες αξιολόγησης του χρώματος να είναι πάντα οι ίδιες ανεξάρτητα με τις εξωτερικές συνθήκες (νύχτα ή μέρα, εσωτερικός ή εξωτερικός χώρος). Η χρωματομετρική

αυτή μέθοδος αξιολογεί πολύ μικρές μόνο επιφάνειες, των δειγμάτων (διαμέτρου 8mm) κάθε φορά, με αποτέλεσμα η αξιοπιστία της να είναι συνάρτηση της πυκνότητας των λαμβανομένων χρωματομετρικών μετρήσεων [51].

2.4. ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ

2.4.1. Υπέρυθρη ακτινοβολία

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε έναν αριθμό από περιοχές με διαφορετικά μήκη κύματος. Η θερμογραφία υπέρυθρου κάνει χρήση της περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που περιλαμβάνει τα μήκη κύματος από 0,75 έως 1000μm και περικλείεται μεταξύ του ορατού φάσματος και των μικροκυμάτων. Το υπέρυθρο φάσμα διακρίνεται σε τρεις περιοχές : το κοντινό υπέρυθρο (0,75 - 1,5 μm), το μέσο υπέρυθρο (1,5 - 7 μm) και το μακρινό υπέρυθρο (7 - 1000 μm).

Υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπουν όλα τα υλικά, λόγω της θερμικής κίνησης των μορίων τους. Η κίνηση αυτή αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού, ενώ, καθώς όλα τα μόρια αποτελούνται από ηλεκτρικά φορτία, οι ταλαντώσεις των μορίων δημιουργούν και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ένταση, η συχνότητα και το μήκος κύματος της υπέρυθρης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ελέγχεται βασικά από τη θερμοκρασία, το μέγεθος της πηγής και από την ικανότητα εκπομπής του υλικού [47].

2.4.2. Ανάκλαση, διαπερατότητα και απορρόφηση

Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από μια πηγή συναντήσει ένα υλικό, μέρος αυτής το διαπερνά, ανακλάται ή απορροφάται από το υλικό. Τα μέρη αυτά ονομάζονται διαπερατότητα (τ), ανάκλαση (ρ) και απορρόφηση (α) του υλικού και συνδέονται με τη σχέση:

$$\tau + \rho + \alpha = 1 \text{ (Εξ. 2.4.1)}$$

Εάν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας διαπεράσει το υλικό, τότε το υλικό αυτό λέγεται διαφανές. Αντίθετα, εάν το ρ είναι πολύ μεγάλο, θεωρούμε ότι το υλικό συμπεριφέρεται σαν κάτοπτρο. Άλλοι τύποι υλικών απορροφούν το μεγαλύτερο της ακτινοβολίας που πέφτει στην επιφάνεια τους. Η απορροφητική ικανότητα των υλικών γενικά αυξάνει όταν η επιφάνεια τους είναι ανώμαλη [47].

2.4.3. Ακτινοβολία μέλανος σώματος (black body)

Ως μέλαν σώμα ορίζεται το αντικείμενο που απορροφά όλο το ποσό της ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει σε αυτό σε οποιοδήποτε μήκος κύματος. Η ονομασία, μέλαν, που συνδέεται με ένα σώμα που εκπέμπει ακτινοβολία

αποδίδεται από το νόμο του Kirchoff, σύμφωνα με τον οποίο ένα σώμα ικανό να απορροφά όλη την ακτινοβολία κάθε μήκους κύματος που προσπίπτει σε αυτό, είναι επίσης ικανό και να την εκπέμπει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Ο νόμος του Kirchoff επάγει μία πολύ σημαντική έννοια, αυτή του ιδανικού απορροφητή ή <<μέλανος σώματος>> (black body), που είναι επίσης και ο πιο αποτελεσματικός πομπός θερμικής ακτινοβολίας. Ένα μελανό σώμα μπορεί να περιγραφεί με ένα άνοιγμα που οδηγεί σε μια κοιλότητα, τα τοιχώματα της οποίας είναι μαύρα και έχουν σταθερή θερμοκρασία. Ακόμη και αν ο συντελεστής απορρόφησης των τοιχωμάτων είναι μικρότερος της μονάδας, η ακτινοβολία που διέρχεται από το άνοιγμα θα υποστεί τόσες πολλές ανακλάσεις πριν εξέλθει, που τελικά θεωρείται ότι απορροφήθηκε ολικά. Η έννοια του <<μέλανος σώματος>> είναι πολύ σπουδαία, όχι μόνον επειδή είναι ο πιο αποτελεσματικός πομπός θερμικής ενέργειας, αλλά και γιατί μπορεί να αποδείξει ότι η ολική ισχύς της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και ο φασματικός διαχωρισμός της εξαρτάται μόνον από τη θερμοκρασία [47].

Μια ισόθερμη κοιλότητα με κατάλληλο θερμαντήρα ορίζεται ως πομπός θερμικής ακτινοβολίας. Μια τέτοια κοιλότητα θερμαινόμενη σε ομοιόμορφη θερμοκρασία παράγει την ακτινοβολία του μέλανος σώματος, τα χαρακτηριστικά του οποίου διέπονται από το νόμο του Planck, π.χ. ορίζεται μόνο από τη θερμοκρασία της κοιλότητας. Τέτοιοι κοίλοι πομποί χρησιμοποιούνται συχνά ως πηγές ακτινοβολίας για πρότυπα θερμοκρασίας αναφοράς στο εργαστήριο, για τη βαθμονόμηση οργάνων θερμικών μετρήσεων. Αν η θερμοκρασία ενός πομπού θερμικής ακτινοβολίας μέλανος σώματος αυξηθεί πάνω από 525⁰ C, η πηγή αρχίζει να γίνεται ορατή, και δεν είναι πλέον μαύρη. Αυτή είναι η αρχική θερμοκρασία πυράκτωσης του πομπού θερμικής ακτινοβολίας, η οποία στη συνέχεια γίνεται πορτοκαλί ή κίτρινη, καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται περαιτέρω. Ο ορισμός της επονομαζόμενης έγχρωμης θερμοκρασίας ενός αντικειμένου είναι εκείνη η θερμοκρασία μέχρι την οποία ένα μέλαν σώμα πρέπει να θερμανθεί προκειμένου να παρουσιάζει ομοιόμορφη εμφάνιση. Οι σχέσεις που ακολουθούν περιγράφουν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα [47]:

A) Νόμος του Planck

Ο Planck περιγράφει την κατανομή του φάσματος της ακτινοβολίας ενός μέλανος σώματος με την ακόλουθη εξίσωση:

$$W_{\lambda b} = [2\pi hc^2/\lambda^5(e^{hc/\lambda kT} - 1)] \times 10^{-6}, W/(m^2 \times \mu m) \text{ (Εξ. 2.4.2)},$$

όπου $W_{\lambda b}$ το φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας του μέλανος σώματος σε μήκος κύματος λ , c η ταχύτητα του φωτός, h η σταθερά του Planck, k η σταθερά του Boltzmann, T η απόλυτη θερμοκρασία του μέλανος σώματος και λ το μήκος κύματος (μm).

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών των φασμάτων εκπομπής (π.χ. το ακτινόμετρο) πρέπει να χρησιμοποιούν μία

περιορισμένη ζώνη ακτινοβολίας προκειμένου να καταγράψουν μία ένδειξη. Γι' αυτό μία τιμή εκπομπής ακτινοβολίας φάσματος δεν έχει νόημα εκτός και αν καθορίζεται η περιοχή του φάσματος.

Η εξίσωση του Planck, όταν παρουσιάζεται γραφικά για διάφορες θερμοκρασίες, παράγει μια σειρά από καμπύλες. Ακολουθώντας μια οποιαδήποτε καμπύλη του Planck, η εκπομπή φάσματος είναι μηδέν για $\lambda = 0$, στη συνέχεια αυξάνεται αλματωδώς προς το μέγιστο σε μήκος κύματος λ_{\max} και στη συνέχεια μειώνεται και πλησιάζει στο μηδέν σε πολύ μεγάλα μήκη κύματος. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος στο οποίο παρατηρείται το μέγιστο.

Β) Νόμος Μετατόπισης του Wien (Wien's Displacement Law)

Η σχέση του Wien διαφορίζει τη σχέση του Planck ως προς το λ και βρίσκει το μέγιστο:

$$\lambda_{\max} = (2898/T) \mu\text{m} \text{ (Εξ. 2.4.3)}$$

Η σχέση αυτή μας δίνει τη μέγιστη κορυφή λ_{\max} σε μm που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία T (Kelvin) για ένα σώμα που εκπέμπει. Η σχέση αυτή εκφράζει μαθηματικά την κοινή παρατήρηση ότι τα χρώματα ποικίλλουν από κόκκινο σε πορτοκαλί ή κίτρινο, καθώς η θερμοκρασία ενός πομπού θερμοκής ακτινοβολίας αυξάνει. Το μήκος κύματος του χρώματος είναι ίδιο με το υπολογιζόμενο μήκος κύματος για λ_{\max} .

Γ) Νόμος Stefan Boltzmann

Ο νόμος Stefan Boltzmann προκύπτει από την ολοκλήρωση της εξίσωσης του Planck από $\lambda = 0$ έως $\lambda = \infty$ για να αποδώσει την ολική ακτινοβολία εκπομπής W_b ενός μέλανος σώματος :

$$W_b = \sigma T^4 \text{ w/m}^2 \text{ (Εξ. 2.4.4),}$$

όπου σ η σταθερά Boltzmann ($5,7 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$). Η παραπάνω εξίσωση δηλώνει ότι η συνολική ικανότητα εκπομπής ενός μέλανος σώματος είναι ανάλογη προς την τέταρτη δύναμη της απόλυτης θερμοκρασίας του. Γραφικά το W_b αντιπροσωπεύει την περιοχή (εμβαδό) κάτω από την καμπύλη του Planck για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία.

2.4.4. Ακτινοβολία γκρίζου σώματος

Τα πραγματικά αντικείμενα ή έγχρωμα σώματα σχεδόν ποτέ δεν ακολουθούν τους νόμους της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος, σε μια ευρεία περιοχή από μήκη κύματος, αν και μπορεί να προσεγγίζουν τη συμπεριφορά του μέλανος σώματος, σε συγκεκριμένα διαστήματα φάσματος [47].

Υπάρχουν τρεις διεργασίες οι οποίες μπορεί να εμποδίσουν ένα πραγματικό σώμα να συμπεριφερθεί ως μέλαν σώμα : μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, α , μπορεί να απορροφηθεί, μέρος, ρ , μπορεί να ανακλαστεί και μέρος, τ , μπορεί να το διαπεράσει. Αφού όλοι αυτοί οι παράγοντες εξαρτώνται από το μήκος κύματος, το λ χρησιμοποιείται σα δείκτης για να υποδηλώσει την εξάρτησή τους από αυτό.

Συνεπώς [47]:

- απορρόφηση ακτινοβολίας α_λ : ο λόγος της ακτινοβολίας που απορροφάται από ένα αντικείμενο, προς την προσπίπτουσα,
- ανάκλαση ακτινοβολίας ρ_λ : ο λόγος της ακτινοβολίας που ανακλάται από ένα αντικείμενο, προς την προσπίπτουσα,
- μετάδοση ακτινοβολίας τ_λ : ο λόγος της ακτινοβολίας που διαπερνά διαμέσου ενός αντικειμένου, προς την προσπίπτουσα.

Για κάθε μήκος κύματος ισχύει [47]:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1 \text{ (Εξ. 2.4.5).}$$

2.4.5. Συντελεστής εκπομπής

Ένας άλλος παράγοντας, που ονομάζεται συντελεστής εκπομπής ϵ (emissivity), απαιτείται για να περιγράψει το μέρος ϵ της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ενός μέλανος σώματος, που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Συγκεκριμένα, ο φασματικός συντελεστής εκπομπής ϵ_λ ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που εκπέμπει ένα αντικείμενο προς την ενέργεια που εκπέμπει το μέλαν σώμα, στην ίδια θερμοκρασία και μήκος κύματος [47]:

$$\epsilon_\lambda = W_{\lambda o} / W_{\lambda b} \text{ (Εξ. 2.4.6),}$$

όπου $W_{\lambda o}$ είναι η ενέργεια που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο σε συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος και $W_{\lambda b}$ είναι η ενέργεια που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα.

Γενικά, υπάρχουν τρία είδη πηγών θερμικής ακτινοβολίας που διακρίνονται με βάση τους τρόπους, με τους οποίους η εκπομπή φάσματος του καθενός μεταβάλλεται με το μήκος κύματος [47]:

1. μέλαν σώμα ($\epsilon_\lambda = \epsilon = 1$) : το ϵ είναι ανεξάρτητο από το μήκος κύματος,
2. γκρίζο σώμα ($\epsilon_\lambda = \epsilon = \text{constant} < 1$) : το ϵ είναι ανεξάρτητο από το μήκος κύματος,
3. εκλεκτικός πομπός θερμικής ακτινοβολίας (selective radiator) : το ϵ_λ μεταβάλλεται με το μήκος κύματος.

Σύμφωνα με το νόμο του Kirchoff, για κάθε σώμα ο συντελεστής εκπομπής και η φασματική απορρόφηση ενός σώματος είναι ίσες σε κάθε συγκεκριμένη θερμοκρασία και μήκος κύματος, ισχύει δηλαδή ότι $\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda$ [47].

Λαμβάνοντας υπόψη την τιμή του ϵ για ένα γκρίζο πομπό θερμικής ακτινοβολίας, η εξίσωση Stefan Boltzmann γίνεται :

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \text{ W/m}^2 \text{ (Εξ. 2.4.7).}$$

Η εξίσωση αυτή δηλώνει ότι η συνολική ικανότητα εκπομπής ενός γκριζου σώματος είναι ίδια με αυτή ενός μέλανος σώματος στην ίδια θερμοκρασία, μειωμένη ανάλογα με την τιμή του ε για το γκριζο σώμα [47].

2.4.6. Μέθοδοι υπέρυθρης θερμογράφησης

Η θερμογραφία υπέρυθρου είναι μία τεχνική κατά την οποία καταγράφεται και μετράται η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα υλικό στην περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 0,7 έως 14 μm . Η εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία εξαρτάται βασικά από τη θερμοκρασία της επιφάνειας και την ικανότητα εκπομπής του υλικού. Άλλες παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την αξιοπιστία των μετρήσεων είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η υγρασία, η απόσταση της θερμογραφούμενης επιφάνειας από τη συσκευή μέτρησης και η γωνία θερμογράφησης.

Υπάρχουν τρεις τρόποι για την καταγραφή της υπέρυθρης ακτινοβολίας [47]:

- i. Καταγραφή της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας.
- ii. Καταγραφή της ανακλώμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας μετά από εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας πάνω στο εξεταζόμενο σώμα.
- iii. Καταγραφή ενός μίγματος ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας.

2.4.7. Μήκος κύματος θερμογραφικών συστημάτων

Στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος διακρίνονται δύο περιοχές μήκους κύματος, οι οποίες είναι διαπερατές από την ατμόσφαιρα και χρησιμοποιούνται από τα θερμογραφικά συστήματα. Αυτές συνήθως είναι οι εξής: 2-5.6 μm (χαμηλού – μεσαίου μήκους κύματος) και 8-14 μm (υψηλού μήκους κύματος). Η επιλογή του κατάλληλου μήκους κύματος εξαρτάται συνήθως από την εφαρμογή. Γενικότερα πάντως ισχύει ότι [47]:

- ✓ Τα θερμογραφικά συστήματα χαμηλού – μεσαίου κύματος έχουν μεγάλη ευαισθησία σε υψηλές θερμοκρασίες (\geq της θερμοκρασίας περιβάλλοντος). Περιορίζονται όμως όσον αφορά στην απόσταση καταγραφής – ελέγχου, σε περίπτωση που ζητείται ακρίβεια στη μέτρηση της θερμοκρασίας και όχι για εντοπισμό, η οποία κυμαίνεται περίπου στα 200 μέτρα.
- ✓ Τα θερμογραφικά συστήματα υψηλού μήκους κύματος έχουν μεγάλη ευαισθησία στις χαμηλές θερμοκρασίες (\leq της θερμοκρασίας περιβάλλοντος). Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή μεγαλύτερων αποστάσεων, καθώς η ατμόσφαιρα εξασθενεί λιγότερο στα υψηλά μήκη κύματος [47].

2.4.8. Θερμογραφικός έλεγχος

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις – μεθοδολογίες θερμογραφικού ελέγχου [48]:

- ✓ η παθητική προσέγγιση (passive)
- ✓ η ενεργητική προσέγγιση (active).

2.4.8.1. Παθητική προσέγγιση

Με τον παθητικό θερμογραφικό έλεγχο εξετάζονται υλικά και κατασκευές που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασιακή κλίμακα από το περιβάλλον (συνήθως υψηλότερη), δηλαδή σε εφαρμογές που το υλικό περιέχει τη δική του πηγή θερμότητας.

Κατά τη μέθοδο αυτή καταγράφεται η εκπεμπόμενη από το σώμα υπέρυθρη ακτινοβολία, χωρίς την εφαρμογή κάποιας εξωτερικής πηγής θερμότητας [48].

2.4.8.2. Ενεργητική προσέγγιση

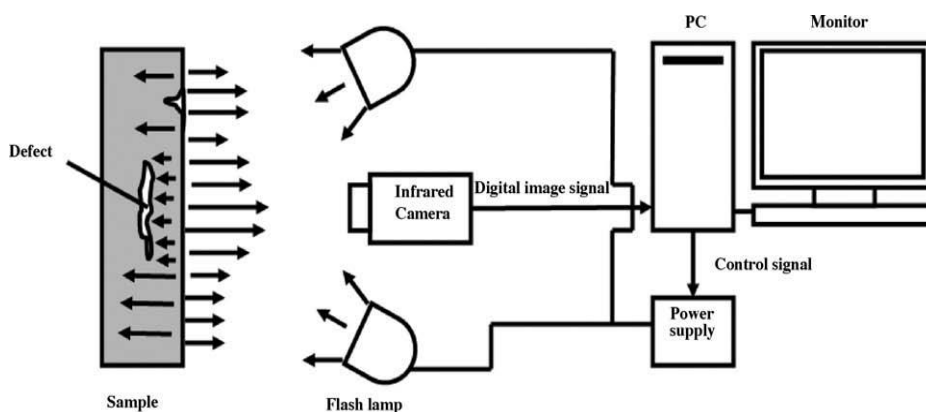
Στην ενεργητική προσέγγιση χρησιμοποιείται μια εξωτερική πηγή διέγερσης των υλικών που εξετάζονται, όπως είναι η λάμπα ακτινοβολήσης που φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχ. 2.4.1. Λάμπα ακτινοβολήσης κατά τον ενεργητικό θερμογραφικό έλεγχο [50]

Ποιοτικά ο μηχανισμός λειτουργίας της είναι ο εξής: με τη βοήθεια της εξωτερικής πηγής διέγερσης το υπό εξέταση υλικό δέχεται ένα θερμικό παλμό, ο οποίος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των 4 με 49.6 KJ. Η θερμοκρασία του υλικού μεταβάλλεται απότομα μετά την εφαρμογή του θερμικού παλμού, λόγω φαινομένων διάχυσης της ακτινοβολίας κάτω από την επιφάνεια και απωλειών λόγω φαινομένων μεταφοράς με συναγωγή και ακτινοβολία [48].

Η παρουσία ενός άλλου υλικού ή ενός δομικού ελαττώματος μειώνει το ρυθμό διάχυσης, με αποτέλεσμα παρατηρώντας τη θερμοκρασία στην επιφάνεια, η ανομοιογένεια του υλικού να φαίνεται σαν περιοχή με διαφορετική θερμοκρασία σε σχέση με τη γύρω << υγρή >> ομοιογενή περιοχή [48]. Η πειραματική διάταξη ενός ενεργητικού θερμογραφικού ελέγχου φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί [49]:



Σχ. 2.4.2. Πειραματική διάταξη ενεργητικού θερμογραφικού ελέγχου

2.4.9. Εφαρμογές της θερμογραφίας υπερέυθρου

Η θερμογραφία υπερέυθρου είναι μία μη καταστρεπτική τεχνική με ευρύτατο πεδίο εφαρμογών, η οποία μεταξύ άλλων χρησιμεύει στην ανίχνευση της φθοράς των υλικών και των αρχιτεκτονικών επιφανειών, στην εξέταση έργων τέχνης, στον έλεγχο της υγρασίας, της μόνωσης και γενικότερα διαφόρων επεμβάσεων σε κατασκευές, όπως επίσης στην ανίχνευση διαρροών (αεροναυτική), στην επιθεώρηση ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, στον εντοπισμό πυρκαϊών, ακόμα και στην εγκαίριότερη διάγνωση του καρκίνου του στήθους [47].

2.4.10. Πειραματική διάταξη

Το θερμογραφικό σύστημα απαρτίζεται από την κάμερα (imager) και τον επεξεργαστή. Η "καρδιά" του imager είναι ο ανιχνευτής υπερέυθρου που ψύχεται από ένα ειδικό σύστημα (stirling cooler), το οποίο λειτουργεί με ήλιο (99,99%),

ώστε ο ανιχνευτής να είναι πολύ ευαίσθητος στην υπέρυθη ακτινοβολία. Ο imager μετατρέπει την υπέρυθη ακτινοβολία σε ηλεκτρικό σήμα. Ο επεξεργαστής λαμβάνει αυτό το σήμα, το αποθηκεύει στη μνήμη, το επεξεργάζεται με βάση ειδικό software και το εμφανίζει σε οθόνη υγρών κρυστάλλων σε μορφή θερμοδιαγράμματος. Το θερμοδιάγραμμα είναι μία διδιάστατη θερμοκρασιακή χαρτογράφηση [47].

Ο ανιχνευτής υπέρυθρου είναι κατασκευασμένος από υδράργυρο-κάλιο-τελλούριο και παρέχει στο σύστημα να μετρά και σε ανοιχτούς χώρους (όπου υπάρχουν έντονες ανακλάσεις ηλιακού φωτός), στην περιοχή από 8-12μm. Το σύστημα μπορεί να απεικονίσει θερμοκρασίες αντικειμένων από - 40° C έως 300° C [47].

Με ένα τυπικό θερμογραφικό σύστημα, και μετά από κατάλληλη επεξεργασία των θερμογραφήματων, μπορούν να παρθούν πληροφορίες όπως [47]:

- ✓ προσδιορισμός της μέσης θερμοκρασίας του εξεταζόμενου θερμογραφήματος,
- ✓ επιλογή συγκεκριμένων σημείων του θερμογραφήματος με την ακριβή τους θερμοκρασία,
- ✓ απεικόνιση περιοχών χαμηλών, μέσων και υψηλών θερμοκρασιών στο θερμογράφημα,
- ✓ μεγέθυνση συγκεκριμένου σημείου της εικόνας,
- ✓ δημιουργία ιστογράμματος κατανομής θερμοκρασιών.

III. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

Η εν προκειμένω μελέτη αφορά στη χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών για τη διάγνωση της φθοράς και επόμενα, για την αποτύπωση της κατάστασης συντήρησης του έργου του Ν. Κεσσανλή.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε εκτενής έρευνα σχετική με τη χρησιμοποιούμενη τεχνική και τα χρησιμοποιούμενα υλικά. Η πιστοποίηση των χρησιμοποιούμενων υλικών έδωσε τη σειρά της στη μελέτη των υλικών και των βασικών αιτιών φθοράς τους.

Επόμενο βήμα ήταν η αποτύπωση και διάγνωση της φθοράς του έργου. Προς τούτο αρχικά επιστρατεύθηκε η μέθοδος της ψηφιακής μακροφωτογραφίας. Και οι δύο όψεις του έργου φωτογραφήθηκαν, με αποτέλεσμα μία πρώτη αποτύπωση φθοράς. Η δυνατότητα για επίτευξη υψηλότερης ανάλυσης έδωσε τη σειρά της στη μέθοδο της μικροσκοπίας οπτικών ινών. Το έργο κατατμήθηκε σε περιοχές και σαρώθηκε, ανά περιοχή, με μικροσκόπιο οπτικών ινών. Τα αποτελέσματα έδωσαν σημαντικότερες πληροφορίες σχετικά με τη μορφολογία της επιφάνειας του έργου και συμπλήρωσαν ιδανικά αυτά της μεθόδου της ψηφιακής μακροφωτογραφίας.

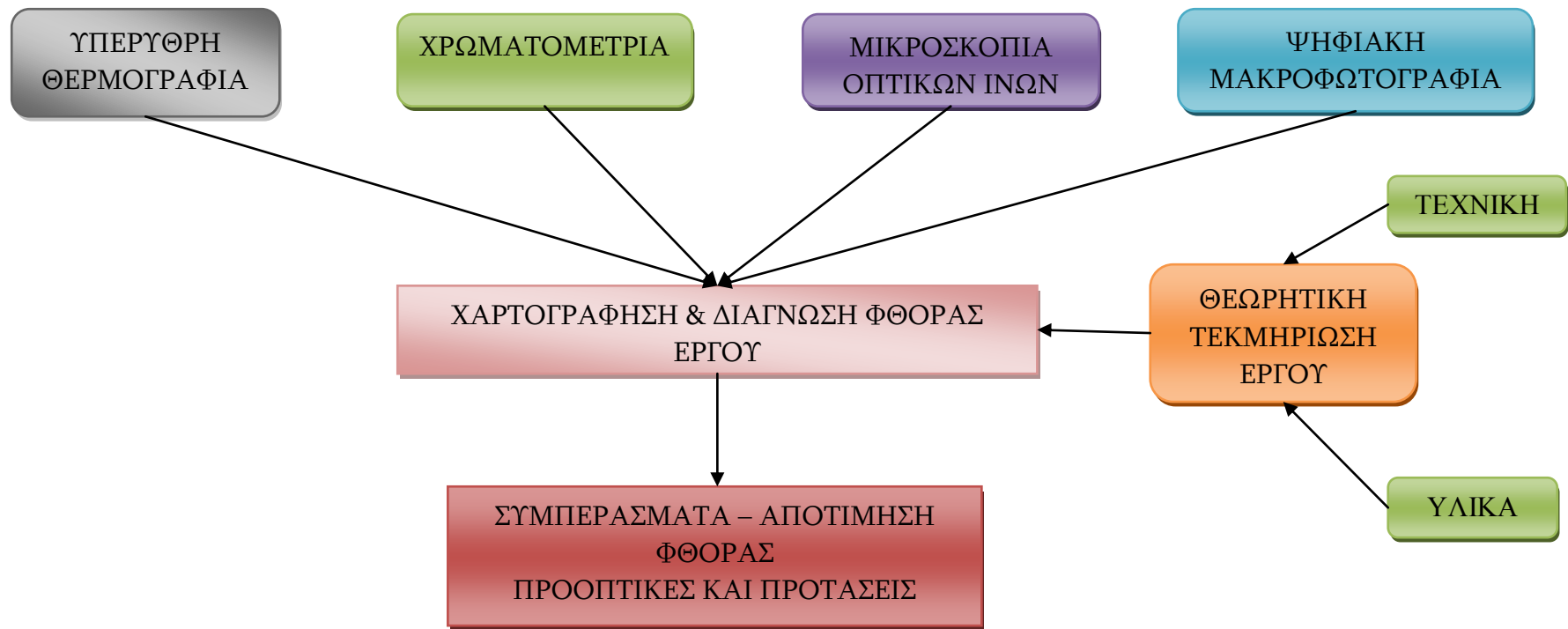
Εν συνεχεία εφαρμόστηκε η μέθοδος της χρωματομετρίας. Αυτό έγινε αφενός για να καταγραφούν οι χρωματικές αποχρώσεις του έργου, καταγραφή η οποία μπορεί να αποβεί μελλοντικά ωφέλιμη, αφετέρου για να συγκριθούν οι κοινές χρωματικές αποχρώσεις, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη μεταβολή των υλικών στο χρόνο.

Τέλος, εξετάστηκε η περίπτωση ανίχνευσης δομικών ατελειών και ελαττωμάτων στο έργο. Το έργο θερμογραφήθηκε αρχικά παθητικά χωρίς ιδιαίτερα αποτελέσματα και εν συνεχεία διεγέρθηκε θερμικά, με αποτέλεσμα μία λεπτομερέστερη εποπτεία των υλικών του.

Η αποτύπωση της φθοράς σε συνδυασμό με την έρευνα, που πραγματοποιήθηκε για τα υλικά και τα αίτια φθοράς του έργου, καταλήγουν σε μία πρώτη διάγνωση φθοράς των υλικών του, καθώς και σε προτεινόμενα μέτρα συντήρησής του.

Η ολοκλήρωση του μη καταστρεπτικού ελέγχου μπορεί πλέον να δώσει τη θέση της στον καταστρεπτικό έλεγχο, μέσω δειγματοληψιών υλικού από το έργο, προς περαιτέρω ανάλυση και χαρακτηρισμό των υλικών του και των προϊόντων φθοράς τους.

Το διάγραμμα ροής της πειραματικής διαδικασίας και της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχ. 3.1. Διάγραμμα ροής πειραματικής διαδικασίας και επεξεργασίας αποτελεσμάτων

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

Το έργο 'Ερωτικό' της σειράς έργων με τίτλο 'Τσιμέντα' του Νίκου Κεσσανλή μελετήθηκε στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών με τις μη καταστρεπτικές τεχνικές της ψηφιακής μακροφωτογραφίας, της μικροσκοπίας οπτικών ινών, της χρωματομετρίας και της θερμογραφίας υπερύθρου.

Το έργο, διαστάσεων περίπου 140 x110 x 5,5cm, φυλασσόταν σε οικεία στο νησί της Κέρκυρας, στην περιοχή Κομμένο, περιοχή πλησίον της θάλασσας. Σημαντικό στοιχείο, επομένως, που άπτεται του μακροκλίματος έκθεσης του έργου είναι οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο νησί της Κέρκυρας. Αυτές διαμορφώνονται, μεταξύ 9,7 - 26,5 °C, για τις τιμές της θερμοκρασίας (μέση μηνιαία θερμοκρασία) και 59,8 - 77,6 %, για τις τιμές της σχετικής υγρασίας (μέση μηνιαία σχετική υγρασία).⁵⁸ Το μοναδικό γνωστό στοιχείο που άπτεται του μικροκλίματος έκθεσης του έργου είναι ένα περιστατικό πυρκαϊάς που έλαβε χώρα πλησίον του χώρου έκθεσής του έργου και για το οποίο δεν είναι διαθέσιμες άλλες λεπτομέρειες. Επιπλέον, το έργο και με τη συναίνεση του ίδιου του Κεσσανλή, μετά από αποκόλληση τμήματος του κάτω σοβά του, υπεβλήθη σε επέμβαση αποκατάστασης στην έννοια ότι το απωλεσθέν τσιμεντοκονίαμα αντικαταστάθηκε από έτερο τσιμεντοκονίαμα. Ακολούθως παρουσιάζονται τα μοναδικά φωτογραφικά τεκμήρια του έργου, αυτό της πρωτότυπης μορφής του και αυτό στην παρούσα μορφή του. Λόγω του ότι οι εν λόγω φωτογραφίες είναι τελείως διαφορετικά εισημμένες μπορούν να γίνουν μόνο γενικές συγκριτικές παρατηρήσεις.

Συγκρίνοντας τα δύο τεκμήρια φαίνεται ότι το έργο εμφανίζει με βεβαιότητα και εξαρχής τρεις αποχρώσεις, τη λευκή, τη μαύρη και την καφέ. Όσον αφορά στην έκταση της κάθε απόχρωσης στο έργο, καλό είναι να διατηρηθεί μία επιφύλαξη, λόγω του ότι οι συνθήκες λήψης των δύο φωτογραφικών τεκμηρίων δε φαίνεται να είναι ίδιες. Το έργο στην παρούσα μορφή του παρουσιάζει επιπλέον και μία γκρι απόχρωση στην περιοχή του άνω σοβά [Σχ. 4.2., περιοχή (2)]. Την ίδια απόχρωση φαίνεται να εμφανίζει το έργο και στην πρωτότυπη μορφή του [Σχ. 4.1., περιοχή (1)]. Λαμβάνοντας υπόψη την προαναφερθείσα επιφύλαξη, φαίνεται, συγκριτικά, η απόχρωση αυτή να έχει επεκταθεί στην παρούσα μορφή του έργου.

Τέλος, σημειώνεται [Σχ. 4.2., περιοχή (3)] το τσιμεντοκονίαμα που χρησιμοποιήθηκε για την αντικατάσταση του αποκολλημένου τμήματος του κάτω σοβά, το οποίο φαίνεται να έχει τελείως διαφορετικές αναλογίες πρώτων υλών, καθώς παρατηρείται πως όχι μόνο έχει τελείως διαφορετικό χρώμα από τη γειτονική περιοχή του κάτω σοβά [Σχ. 4.2., περιοχή (3)], μα επιπλέον παρουσιάζει ενιαία απόχρωση σε σύγκριση με τμήμα του επιχρίσματος που αντικαθιστά, το οποίο είναι δίχρωμο (λευκό και μαύρο) [Σχ. 4.1., περιοχή (4)].

Το έργο στην πρωτότυπη και στην παρούσα μορφή του (πρόσθια και οπίσθια όψη) παρουσιάζεται στις φωτογραφίες που ακολουθούν:



Σχ. 4.1. Το 'Ερωτικό' στην πρωτότυπη μορφή του



Σχ. 4.2. Το 'Ερωτικό' στην παρούσα μορφή του



Σχ. 4.3. Η οπίσθια όψη του 'Ερωτικού' στην παρούσα μορφή του

5. ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΜΑΚΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

5.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Εφαρμόστηκε η μέθοδος της ψηφιακής μακροφωτογραφίας με χρήση ψηφιακής μονοοπτικής ρεφλέξ κάμερας Nikon (Nikon dSLR).

Και οι δύο όψεις του έργου φωτογραφήθηκαν τόσο με πραγματικό μακρο-φακό, μικρο-φακό κατά Nikon (Micro- Nikkor len), όσο και με φακό με δυνατότητα ρύθμισης μακρο - (Nikkor with macromode).

5.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

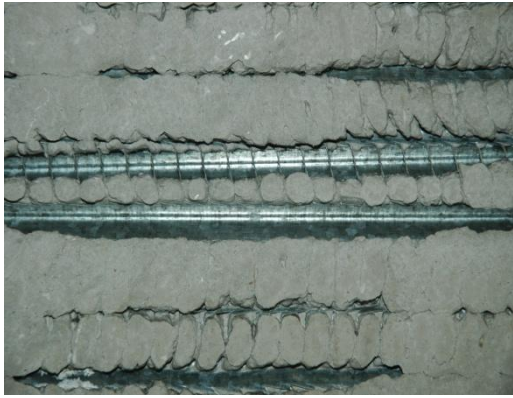
Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από τις φωτογραφίες με τη μέθοδο της ψηφιακής μακροφωτογραφίας παρουσιάζονται ακολούθως, με παράθεση κάθε φορά του χρησιμοποιούμενου φακού λήψης. Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν στο σιδηροπλισμό του έργου, εν συνεχεία τα αποτελέσματα που αφορούν στα τιμεντοκονιάματα του έργου και τέλος αυτά που σχετίζονται με τα φωτογραφικά υλικά του έργου.

1) Το πάχος επικάλυψης του σιδηροπλισμού στην οπίσθια όψη του έργου έχει αποκολληθεί εκτεταμένα, με αποτέλεσμα να καθίσταται ορατή τόσο η διάτρητη γαλβανιζέ λαμαρίνα, όσο και οι σιδηροπλισμοί που συνθέτουν το στηρικτικό πλαίσιο του έργου.



Σχ.5.2.1. Πλαίσιο στήριξης έργου με macromode φακό Nikon

Η διάτρητη γαλβανιζέ λαμαρίνα, καθώς και οι σιδηροπλισμοί που συνθέτουν το στηρικτικό πλαίσιο του έργου φαίνονται κι ακολούθως, ενώ επιπλέον ορατά γίνονται και τα σιδερένια σύρματα, μέσω των οποίων προσδένεται η λαμαρίνα στους σιδηροπλισμούς. Παρατηρείται η διάβρωση του σιδηροπλισμού, καθώς και πως αυτή δεν είναι ενιαία για όλους τους σπλισμούς.



Σχ.5.2.2. Διάτρητη γαλβανιζέ λαμαρίνα πραγματικό μάκρο-φακό (micro-Nikkor len)



(α)

(β)

Σχ.5.2.3. Ιδιαίτερα διαβρωμένος σπλισμός (α), λιγότερο διαβρωμένοι σπλισμοί και σιδερένιο σύρμα πρόσδεσης (β) με πραγματικό μάκρο-φακό (micro-Nikkor len)

Ο σιδηροσπλισμός του στηρικτικού πλαισίου του έργου έχει διαβρωθεί, με αποτέλεσμα τα προϊόντα διάβρωσης να έχουν προσβάλλει την κύρια επιφάνεια του έργου, όπως φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.



(α)



(β)

Σχ.5.2.4. Εστίες προϊόντων διάβρωσης σιδηροπλισμού με πραγματικό μάκρο - φακό (micro - Nikkor len)

2α) Το έργο παρουσιάζει ρηγματώση στην κύρια επιφάνειά του, ενώ επιπλέον, παρουσιάζει τις τυπικές καμπύλες χαράξεις που κάνουν οι οικοδόμοι στο τσιμεντοκονιάμα προτού επιστρώσουν τα τσιμεντοκονιάματα επίχρισης. Δύο χαρακτηριστικά δείγματα ρωγμών που παρουσιάζει το βασικό τσιμεντοκονιάμα του έργου, καθώς και οι τυπικές καμπύλες χαράξεις φαίνονται αντίστοιχα στα σχήματα που ακολουθούν.



(α)



(β)

Σχ.5.2.5. Ρωγμές κύριας επιφάνειας έργου με πραγματικό μάκρο - φακό (micro - Nikkor len)



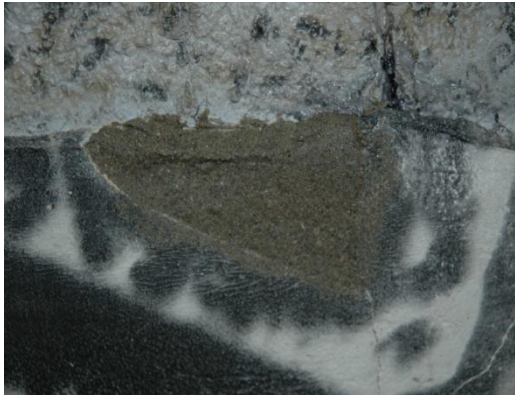
Σχ.5.2.6. Καμπύλη χάραξη κύριας επιφάνειας έργου με πραγματικό μάκρο - φακό (micro - Nikkor len)

2β) Εκτός από τη ρηγμάτωση του βασικού τσιμεντοκονιάματος και το τσιμεντοκονίαμα επίχρισής εμφανίζει ρωγμές, μία χαρακτηριστική εκ των οποίων παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχ. 5.2.7. Ρωγή τσιμεντοκονιάματος επίχρισής με πραγματικό μάκρο - φακό (micro - Nikkor len)

2γ) Το τσιμεντοκονίαμα που χρησιμοποιήθηκε στη θέση του αποκολλημένου τμήματος του επιχρίσματος στην κάτω περιοχή (κάτω σοβάς) φαίνεται ακολούθως.



(α)



(β)

Σχ.5.2.6. Τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης με macromode φακό Nikon (α), με πραγματικό μάκρο - φακό (micro - Nikkor len) (β)

3) Στο έργο απαντώνται, εκτός από τη λευκή και τη μαύρη απόχρωση, η καφέ και η γκρι. Ακολούθως παρουσιάζονται, ένα δείγμα της καφέ απόχρωσης, η οποία εμφανίζεται εκτεταμένα στο έργο, δύο περιοχές του άνω σοβά στις οποίες εμφανίζεται η γκρι απόχρωση, καθώς και ένα χαρακτηριστικό δείγμα λευκού στον άνω και κάτω σοβά, αντίστοιχα.



(α)



(β)

Σχ.5.2.7. Καφέ απόχρωση με macromode φακό Nikon (α), με πραγματικό μάκρο - φακό (micro - Nikkor len) (β)



(α)



(β)

Σχ. 5.2.8. Γκρι απόχρωση άνω σοβά με macromode φακό Nikon



(α)



(β)

Σχ. 5.2.9. Λευκή απόχρωση άνω σοβά (α), κάτω σοβά (β) με macromode φακό Nikon

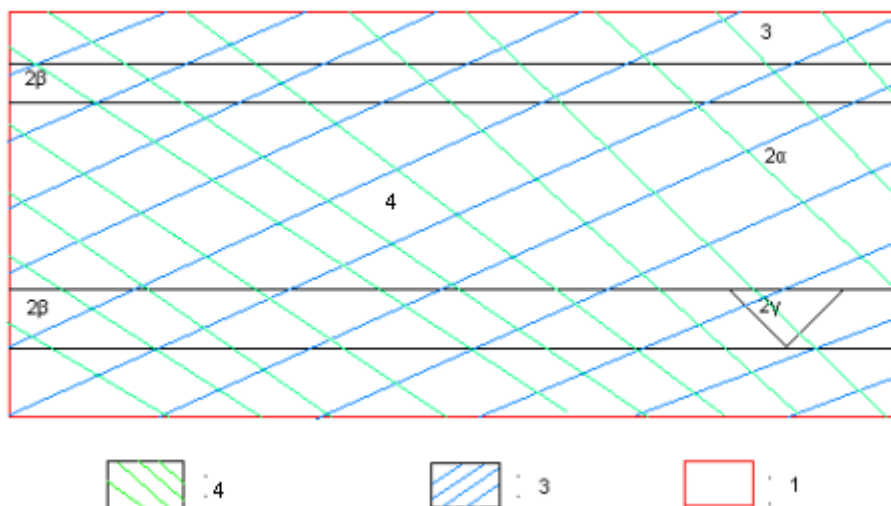
Το φωτογραφικό στρώμα του έργου παρουσιάζει <<σκασίματα>> ή δοκιμότερα ξεφλουδίσματα, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στην εικόνα που ακολουθεί.



Σχ.5.2.10. Εεφλούδισμα φωτογραφικού στρώματος με macromode φακό Nikon

5.3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα βασικά υλικά του έργου, όπως φαίνεται χοντρικά στην κάτοψη που ακολουθεί, είναι τα εξής:



Σχ. 5.3.1. Υλικά έργου και κατανομή αυτών στην επιφάνειά του

1) ο σιδηροπλισμός, ο οποίος συνίσταται σε ένα ορθογώνιο χαλύβδινο πλαίσιο και σε κάθετες χαλύβδινες ράβδους, στις οποίες προσδένεται διάτρητο πλέγμα λαμαρίνας, δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο ένα καλούπι υποδοχής για το τσιμεντοκονίαμα,

2α) το βασικό τσιμεντοκονίαμα του έργου, το οποίο καλύπτει όλη του την επιφάνεια με πάχος περίπου 5,5 cm,

2β) το τσιμεντοκονίαμα επίχρισης το οποίο βρίσκεται με τη μορφή δύο λωρίδων πλάτους περίπου 14cm, μία στην άνω μεριά (άνω σοβάς) του έργου και μία στην κάτω μεριά (κάτω σοβάς) του έργου,

2γ) το τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης το οποίο καλύπτει μία τριγωνικού εμβαδού περιοχή στην περιοχή του κάτω σοβά,

3) το βερνίκι πολυουρεθάνης και

4) τα φωτογραφικά υλικά.

Η μακροσκοπική παρατήρηση του έργου με την τεχνική της ψηφιακής μακροφωτογραφίας διαμορφώνει μία πρώτη κατανόηση περί της κατάστασης διατήρησης του έργου.

Πιο συγκεκριμένα:

1) όσον αφορά στο σιδηροπλισμό στήριξης του έργου παρατηρείται πως αυτός έχει διαβρωθεί, με ένταση όμως που δεν είναι ενιαία. Έτσι, άλλοι σπλισμοί είναι έντονα διαβρωμένοι, ενώ άλλοι πολύ λιγότερο [Σχ. 5.2.3. (α), (β)]. Τα προϊόντα διάβρωσης του σιδηροπλισμού έχουν γίνει εμφανή και στην κύρια επιφάνεια του

έργου. Επιπλέον, παρατηρείται πως το τσιμεντοκονίαμα που φαίνεται πως κάλυπτε ολόκληρη την οπίσθια επιφάνεια του έργου έχει αποκολληθεί εκτεταμένα, με αποτέλεσμα να γίνονται ορατές οι κάθετες ράβδοι [Σχ. 5.2.1.], καθώς και το, τυπικά χρησιμοποιούμενο στις κατασκευές, πλέγμα διάτρητης γαλβανιζέ λαμαρίνας (νευρομετάλλ) [Σχ. 5.2.2.]. Στις κάθετες χαλύβδινες ράβδους γίνεται ορατό και το χαλύβδινο σύρμα, μέσω του οποίου προσδέεται το νευρομετάλλ σε αυτές [Σχ. 5.2.3. (β)].

Η επίδραση των συνθηκών φύλαξης του έργου όπως ενδεχόμενη υψηλή σχετική υγρασία, η οποία με τη σειρά της οδηγεί στο σχηματισμό γαλβανικού στοιχείου μεταξύ του οπλισμού και του πλέγματος λαμαρίνας, το είδος του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου, καθώς και ενδεχόμενη παρουσία χλωριόντων και διοξειδίου του άνθρακα οδηγούν στη διάβρωση του σιδηροπλισμού. Η διάβρωση του σιδηροπλισμού, λόγω του μεγαλύτερου όγκου των προϊόντων της σε συνδυασμό με το μικρό πάχος του τσιμεντοκονιάματος επικάλυψης και πιθανή κακή μεταχείριση κατά τη μεταφορά του έργου είναι πιθανά αίτια της μερικής αποκόλλησης του πάχους επικάλυψης του σιδηροπλισμού.

2α) το τυπικό κατασκευαστικό τσιμεντοκονίαμα είναι το βασικό υλικό του έργου. Παρουσιάζει το τυπικό γκρι χρώμα, λόγω της σύστασής του σε γκρι τσιμέντο, ιδιαίτερα αδρή επιφάνεια, καθώς επίσης τις χαρακτηριστικές καμπύλες χαράξεις που χαράσσουν οι οικοδόμοι με το μυστρί [Σχ. 5.2.6.], πριν εφαρμόσουν τις στρώσεις του επιχρίσματος. Το βασικό τσιμεντοκονίαμα του έργου παρουσιάζει μικρής έκτασης ρηγμάτωση, με λίγες αλλά μεγάλου μήκους ρωγμές, οι οποίες είναι παράλληλες ως προς τη μεγαλύτερη διάσταση του έργου (μήκος) [Σχ. 5.2.5.], ενώ χαρακτηριστικά σε κάποιες από αυτές, είναι εμφανή τα προϊόντα διάβρωσης του σιδηροπλισμού [Σχ. 5.2.4. (β)]. Τα προϊόντα διάβρωσης του σιδηροπλισμού εμφανίζονται επίσης με τη μορφή κρατήρων στην επιφάνεια του τσιμεντοκονιάματος [Σχ. 5.2.4. (α)].

Πιθανή συστολή κατά την σκλήρυνση του σκυροδέματος σε συνδυασμό με τη διάβρωση του σιδηροπλισμού, λόγω του πολύ μεγαλύτερου όγκου των προϊόντων της, πιθανά συμβάλλουν στη ρηγμάτωση του σκυροδέματος του έργου.

2β) το έργο φέρει επίσης την τυπική τελευταία στρώση των κατασκευαστικών τσιμεντοκονιαμάτων επίχρισης, στρώση 'μάρμαρο' ή κοινώς λεγόμενη σοβάς. Παρουσιάζει λευκό χρώμα, λόγω της σύστασης του σε λευκό τσιμέντο, λεία επιφάνεια κι έντονη ρηγμάτωση, με ρωγμές άλλοτε μικρού κι άλλοτε μεγαλύτερου μήκους, και ποτέ παράλληλες ως προς τη μεγαλύτερη διάσταση του έργου (μήκος) [Σχ. 5.2.7.]. Όσον αφορά στο τσιμεντοκονίαμα επίχρισης παρατηρείται επίσης, από τη συμπληρωματική παρατήρηση του τσιμεντοκονιάματος που έχει τοποθετηθεί στη θέση του, πως στην περιοχή της κάτω λωρίδας του επιχρίσματος (κάτω σοβάς) έχει αποκολληθεί ένα τμήμα του [Σχ. 5.2.6. (α)].

Πιθανή συστολή πήξεως της τελευταίας στρώσης του επιχρίσματος (στρώση 'μάρμαρο') συνεπικουρούμενη από πιθανά ανολοκλήρωτη συστολή πήξεως της υποκείμενης στρώσης (στρώση 'λάσπωμα') σε συνδυασμό με τις τάσεις που

δημιουργούνται από τη διόγκωση, λόγω της διάβρωσης του σιδηροπλισμού, καθώς και με το γεγονός ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν εφαρμόστηκε η στρώση του πεταχτού [4] συμβάλλουν στη ρηγμάτωση του επιχρίσματος. Αντίστοιχα είναι τα πιθανά αίτια της αποκόλλησης του επιχρίσματος σε συνδυασμό με την επίδραση του υπερκείμενου, του επιχρίσματος, στρώματος του βερνικιού πολυουρεθάνης, που έχει χρησιμοποιηθεί, η οποία μπορεί να συνίσταται σε εγκλωβισμό υγρασίας στο επίχρισμα, αυξάνοντας κατά αυτόν τον τρόπο τις δημιουργούμενες σε αυτό τάσεις.

2γ) το τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης του απωλεσθέντος τμήματος επιχρίσματος εμφανίζει σκούρο καφέ χρώμα και πιο λεία επιφάνεια, σε σύγκριση με αυτή του γειτονικού σοβά, ενώ φαίνεται να έχει παραχθεί με τελείως διαφορετικές αναλογίες πρώτων υλών, τόσο σε σχέση με το τσιμεντοκονίαμα επίχρισης, όσο και με το βασικό τσιμεντοκονίαμα του έργου [Σχ. 5.2.6. (β)].

3) όσον αφορά στα φωτογραφικά υλικά το έργο εκτός από τη λευκή και τη μαύρη απόχρωση παρατηρείται ότι εμφανίζει επιπλέον και δύο ακόμη αποχρώσεις, την καφέ [Σχ. 5.2.7.] και τη γκρι [Σχ. 5.2.8.].

Η καφέ απόχρωση υπάρχει και στην πρωτότυπη μορφή του έργου. Η απόχρωση αυτή υποδηλώνει το σχηματισμό θειούχου αργύρου (Ag_2S) από μη αναστρέψιμη αντίδραση του αργύρου με το θείο. Το θείο ελευθερώνεται είτε, σε συνθήκες υψηλής υγρασίας, από την περίσσεια, λόγω ανεπαρκούς τελευταίου πλυσίματος, του θειοθειικού νατρίου ($Hydro$), το οποίο είναι ο συνηθέστερος φωτογραφικός στερεωτής, συνυπολογίζοντας και την πιθανότητα διάσπασης του θειοθειικού νατρίου σε θείο, είτε προέρχεται από το υδρόθειο της ατμοσφαιρικής μόλυνσης.

Όσον αφορά στη γκρι απόχρωση, αν πράγματι πρόκειται για το ίδιο γκρι με αυτό του αρχικού έργου, τότε παρατηρείται πως αυτή έχει επεκταθεί.

Όσον αφορά στη γκρι απόχρωση αυτή πιθανά οφείλεται είτε σε παρατεταμένο χρόνο εμφάνισης είτε σε ανεπαρκές ή λανθασμένο πλύσιμο του εμφανιστή, ο οποίος συνέχισε τη δράση του, ενώ περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως αέριοι ρυπαντές, σε συνδυασμό με υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας, μπορεί να έχουν συμβάλει στην επέκτασή της. Για παράδειγμα, και λόγω του ότι οι πληροφορίες για το περιστατικό πυρκαϊάς που σημειώθηκε στο χώρο φύλαξης του έργου είναι μηδαμινές, δε μπορεί να μη ληφθεί υπόψη η επίδραση της εκπεμφθείσας αιθάλης. Επίσης, και όσον αφορά στη λευκή απόχρωση παρατηρείται [Σχ. 5.2.9.] διαφορά μεταξύ του λευκού στον κάτω σοβά και του λευκού στον άνω σοβά και συγκεκριμένα το λευκό του κάτω σοβά φαίνεται περισσότερο έντονο από αυτό του άνω σοβά.

Τέλος, φαίνεται ότι και το ξεφλούδισμα, που παρατηρείται σε ορισμένα σημεία του έργου, σχετίζεται με το στρώμα των φωτογραφικών υλικών, αφού φαίνεται να διακρίνεται το υποκείμενο τσιμεντοκονίαμα [Σχ. 5.2.10.].

6. ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

6.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Κατά την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε φορητό μικροσκόπιο οπτικών ινών, με αντικειμενικούς φακούς μεγέθυνσης της τάξης $\times 30$, $\times 50$ και $\times 100$ αντίστοιχα, ανάλογα με την ανά περίπτωση απαίτηση μεγέθυνσης.

Το υπό εξέταση έργο, διαστάσεων 140×110 cm, κατατμήθηκε σε ορθογώνιες περιοχές και η σάρωση με το μικροσκόπιο έλαβε χώρα σε όλη την επιφάνειά του ανά περιοχή.

6.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στη συνέχεια ακολουθούν οι εικόνες που ελήφθησαν με τη βοήθεια της χρήσης του οπτικού μικροσκοπίου. Η παρουσίασή τους γίνεται άλλοτε ανάλογα με την εκάστοτε, υπό σάρωση, περιοχή κι άλλοτε ανάλογα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της επιφάνειας ή τον τύπο της παρατηρούμενης φθοράς.

Διάβρωση σιδηροπλισμού

Τα προϊόντα διάβρωσης του σιδηροπλισμού, που εντοπίζονται στην κύρια επιφάνεια του έργου, καταγράφονται στις εικόνες που ακολουθούν.

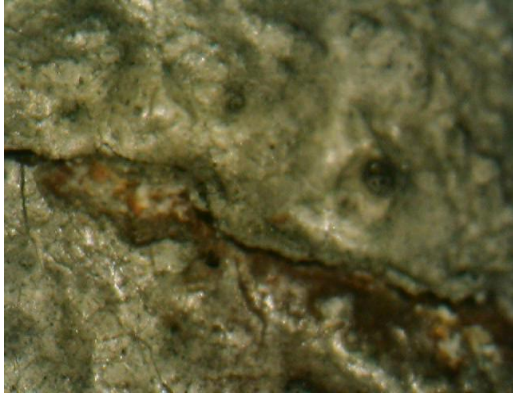


(α)

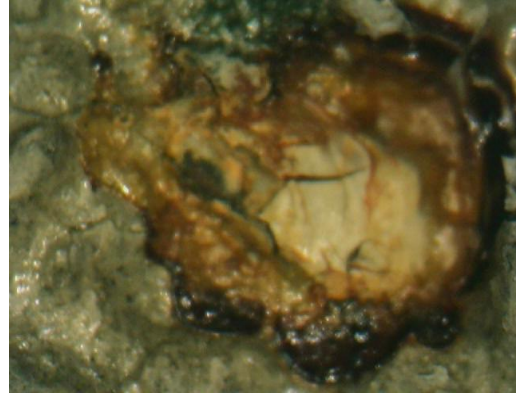


(β)

Σχ. 6.2.1. Εστίες προϊόντων διάβρωσης σιδηροπλισμού ($\times 30$) στην κύρια επιφάνεια του έργου



(α)



(β)

Σχ. 6.2.2. Εστίες προϊόντων διάβρωσης σιδηροπλισμού ($\times 30$) στην κύρια επιφάνεια του έργου

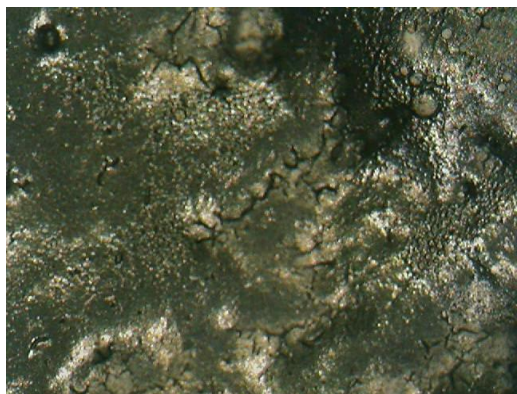
Κύρια επιφάνεια

Η κύρια επιφάνεια του έργου, όπως αυτή καταγράφεται στην περιοχή της λευκής απόχρωσης, φαίνεται να παρουσιάζει μικρές τριχοειδείς ρωγμές, λεία υφή και έντονη ανομοιομορφία.



Σχ.6.2.3. Λευκό ($\times 30$) κύριας επιφάνειας έργου

Η κύρια επιφάνεια του έργου, στην περιοχή της μαύρης απόχρωσης, φαίνεται να παρουσιάζει μικρές τριχοειδείς ρωγμές και έντονη ανομοιομορφία.

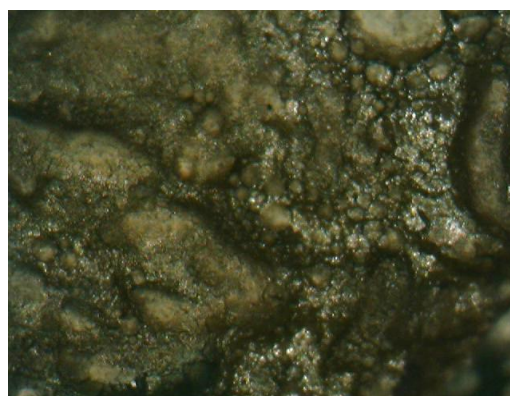


Σχ. 6.2.4. Μαύρο (x 30) κύριας επιφάνειας

Η επιφάνεια του έργου, όπως αυτή καταγράφεται στην περιοχή της καφέ απόχρωσης φαίνεται να παρουσιάζει άλλοτε τραχεία υφή και ελαφρά ανομοιομορφία, άλλοτε λεία υφή κι έντονη ανομοιομορφία, όπως φαίνεται αντίστοιχα ακολούθως.



Σχ.6.2.5. Καφέ (x30) κύριας επιφάνειας



Σχ.6.2.6. Καφέ (x30) κύριας επιφάνειας

Στην περιοχή της γκρι απόχρωσης η κύρια επιφάνεια του έργου παρουσιάζει μικρές τριχοειδείς ρωγμές που σχηματίζουν δίκτυα, λεία υφή κι έντονη ανομοιομορφία, ενώ σε άλλα τμήματα αυτής τραχεία υφή και σαφώς μικρότερη ανομοιομορφία. Τα ανωτέρω φαίνονται, αντίστοιχα, στις εικόνες που ακολουθούν.



Σχ.6.2.7. Γκρι (×30) κύριας επιφάνειας



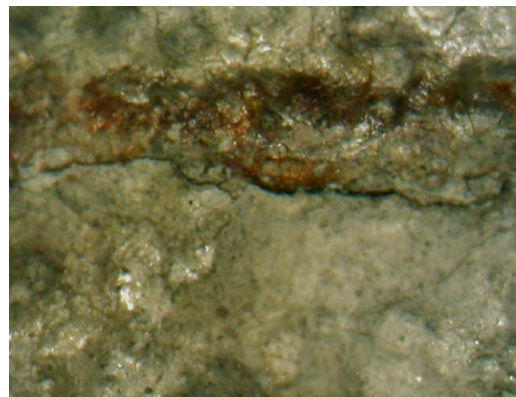
Σχ. 6.2.8. Γκρι (×30) κύριας επιφάνειας

Ρωγμές κύριας επιφάνειας

Το έργο στην κύρια επιφάνειά του παρουσιάζει ρωγμές μεγάλου μήκους και μικρού βάθους, συνήθως παράλληλες ως προς τη διάσταση του μήκους του, καθώς και ρωγμές, οι οποίες φέρουν τα χαρακτηριστικά, φαιού χρώματος, προϊόντα διάβρωσης του σιδηροπλισμού. Τα ανωτέρω φαίνονται αντίστοιχα ακολούθως.



Σχ. 6.2.9. Ρωγμή (×30) στην κύρια επιφάνεια



Σχ. 6.2.10. Ρωγμές (×30) διαβρωμένου σιδηροπλισμού

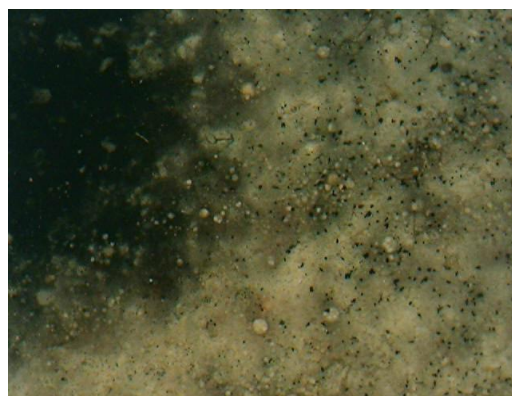
Άνω σοβάς

Η επιφάνεια του άνω σοβά, όπως αυτή καταγράφεται στην περιοχή της λευκής απόχρωσης φαίνεται ελάχιστα ανομοιόμορφη, τραχείας υφής με λίγους πόρους, καθώς φαίνεται ακολούθως.



Σχ.6.2.11. Λευκό (×30) άνω σοβά

Στην περιοχή της γκρι απόχρωσης, η επιφάνεια του άνω σοβά φαίνεται ομοιόμορφη, τραχείας υφής, ενώ παρουσιάζει στίγματα, που δεν αποκλείεται να συνίστανται σε μικροσκοπικούς πόρους.



Σχ.6.2.12. Γκρι (x30) άνω σοβά

Κάτω σοβάς

Η επιφάνεια του κάτω σοβά, όπως αυτή καταγράφεται στην περιοχή της λευκής απόχρωσης, φαίνεται να παρουσιάζει τραχεία υφή με πολλούς μικρούς πόρους ομοιόμορφα κατανεμημένους, και πιο λεία υφή με πόρους μεγαλύτερης, των προηγούμενων, διαμέτρου και άτακτα κατανεμημένους, αντίστοιχα.



(α)

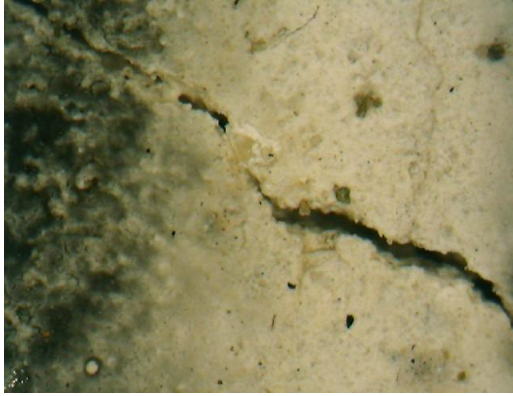


(β)

Σχ.6.2.13. Λευκό (x30) τραχείας υφής (α), λείας υφής κάτω σοβά (β)

Ρωγμές Σοβά

Η επιφάνεια του επιχρίσματος εμφανίζει κι αυτή ρηγμάτωση, τρία χαρακτηριστικά δείγματα της οποίας είναι αυτά που παρουσιάζονται ακολούθως.



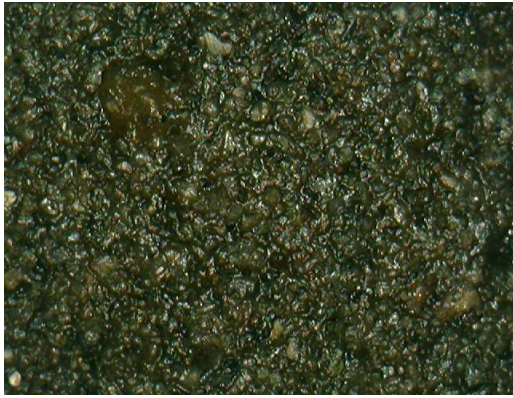
Σχ. 6.2.15. Ρωγμή (×30) κάτω σοβά



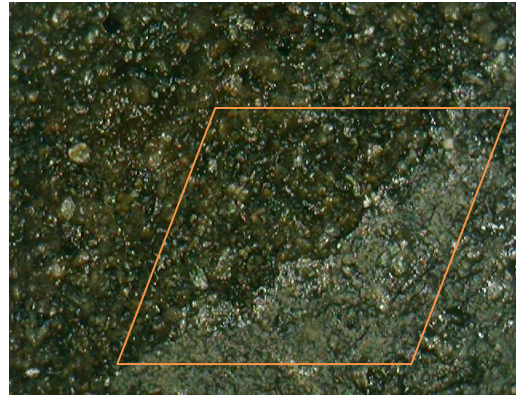
Σχ. 6.2.16. Ρωγμές (× 30) άνω σοβά

Τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης

Ακολούθως παρουσιάζονται οι εικόνες που ελήφθησαν με το οπτικό μικροσκόπιο και αφορούν στο τσιμεντοκονίαμα που χρησιμοποιήθηκε προς αντικατάσταση του απωλεσθέντος τμήματος επιχρίσματος. Συγκεκριμένα απεικονίζονται, η επιφάνεια του τσιμεντοκονιάματος αποκατάστασης και η σχηματιζόμενη διεπιφάνεια μεταξύ του τσιμεντοκονιάματος αποκατάστασης και του αρχικά χρησιμοποιηθέντος τσιμεντοκονιάματος επίχρισης, αντίστοιχα.



(α)



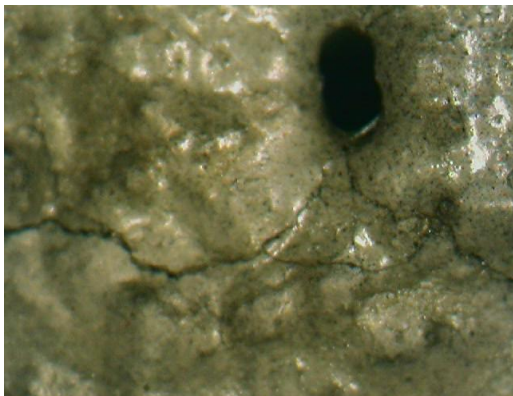
(β)

Σχ.6.2.17. Τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης (×30) (α), διεπιφάνεια αποκατάστασης (×30) (β)

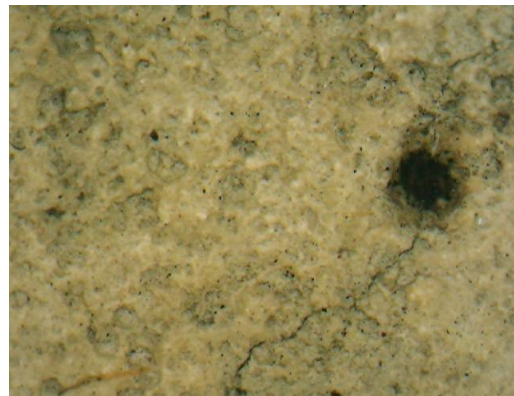
Οπές

Το έργο παρουσιάζει δύο οπές, μία στην κύρια επιφάνειά του και μία στην επιφάνεια του σοβά.

Οι οπές του έργου φαίνονται αντίστοιχα στις εικόνες που ακολουθούν.



(α)

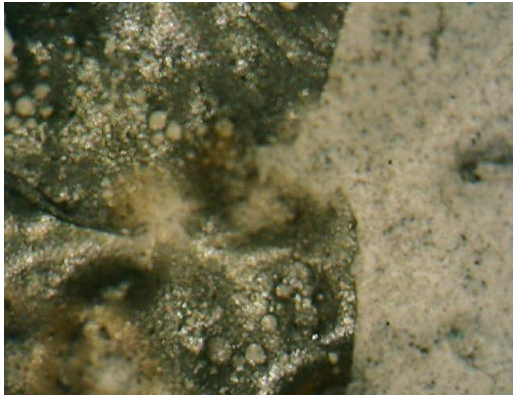


(β)

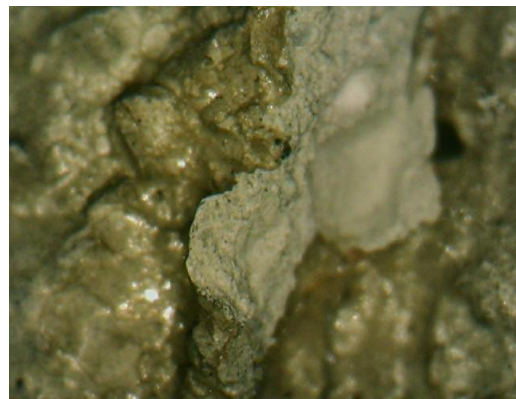
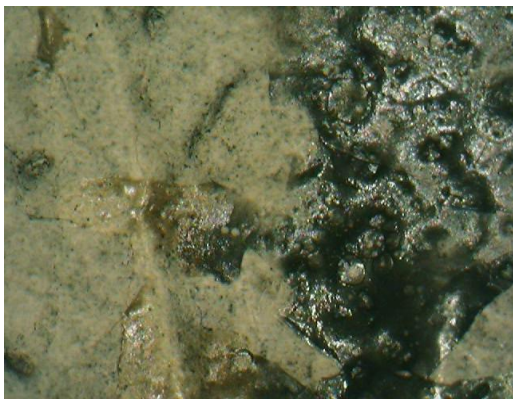
Σχ. 6.2.18. Οπή (×30) κύριας επιφάνειας (α), σοβά (β)

Αποκόλληση

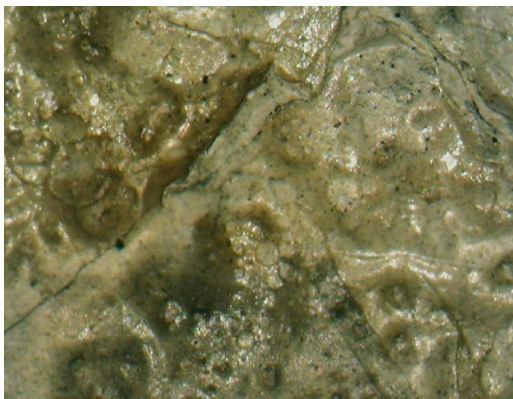
Σε αρκετά σημεία του έργου το φωτογραφικό στρώμα έχει αποκολληθεί με συνέπεια το σχηματισμό των διεπιφανειών που παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν.



Σχ.6.2.19. Αποκόλληση (×30) φωτογραφικού στρώματος



Σχ. 6.2.20. Αποκόλληση (×30) φωτογραφικού στρώματος



Σχ. 6.2.21. Αποκόλληση (×30) φωτογραφικού στρώματος

Ξεφλούδισμα

Το φωτογραφικό στρώμα, σε αρκετά σημεία του έργου, έχει << σκάσει >> - ξεφλουδίσει, όπως φαίνεται ακολούθως.



Σχ. 6.2.22. Ξεφλούδισμα (x30) φωτογραφικού γαλακτώματος



Σχ. 6.2.23. Ξεφλούδισμα (x30) φωτογραφικού γαλακτώματος

Κρακελαρίσματα

Ακολούθως παρουσιάζεται μία σειρά εικόνων που απεικονίζουν ένα χαρακτηριστικό τύπο ρωγμών του έργου, τα κρακελαρίσματα, τα οποία συνίστανται σε δίκτυα ρωγμών. Τα κρακελαρίσματα εμφανίζονται μόνο στην κύρια επιφάνεια του έργου.

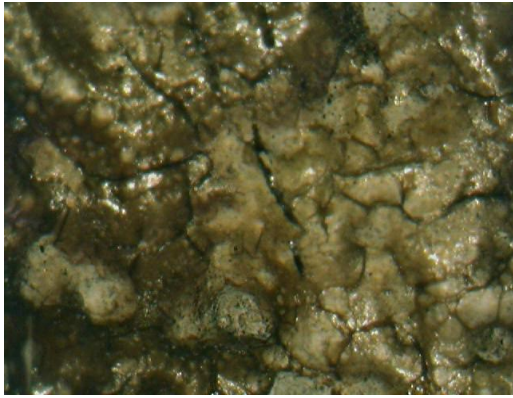


(α)



(β)

Σχ. 6.2.24. Κρακελαρίσματα (x30) σε καφέ κύριας επιφάνειας



(α)

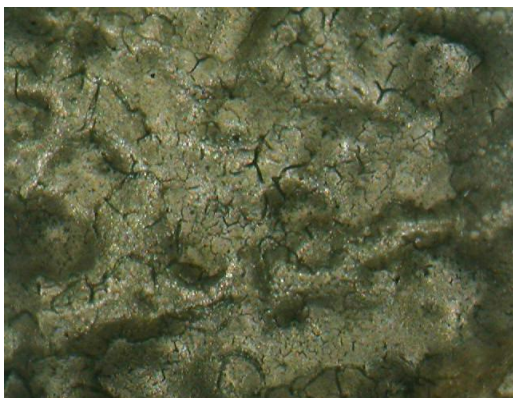


(β)

Σχ. 6.2.25. Κρακελαρίσματα (×30) σε καφέ κύριας επιφάνειας



Σχ. 6.2.26. Κρακελαρίσματα (×30) σε μαύρο κύριας επιφάνειας



(α)

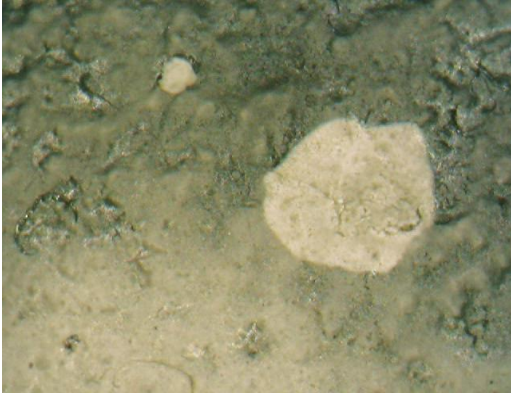


(β)

Σχ. 6.2.27. Κρακελάρισμα (×30) σε γκρι κύριας επιφάνειας (α), σε λευκό κύριας επιφάνειας

Κηλίδες

Το έργο παρουσιάζει ορισμένες λευκές κηλίδες στην κύρια επιφάνειά του, όπως η εικονιζόμενη, οι οποίες παρατίθενται εδώ ως μία ξεχωριστή κατηγορία χαρακτηριστικού της επιφάνειας του έργου, λόγω της αβεβαιότητας που περικλείει η ένταξή τους σε οποιαδήποτε άλλη κατηγορία και συνάμα προς επισήμανση της εν λόγω αβεβαιότητας.



Σχ. 6.2.28. Λευκή κηλίδα (×30) επιφάνειας έργου

6.3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η μικροσκοπία οπτικών ινών είναι μία εξαιρετικά χρήσιμη τεχνική μη καταστρεπτικού ελέγχου, η οποία συμβάλλει στην κατεύθυνση της καταγραφής της μορφολογίας της επιφάνειας του έργου, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την τραχύτητα, το πορώδες, την υφή και το είδος της. Πιο συγκεκριμένα:

- όσον αφορά στην κύρια επιφάνεια του έργου, αυτή παρουσιάζει εν γένει λεία υφή κι έντονη ανομοιομορφία. Επιπλέον παρουσιάζει ρωγμές άλλοτε μεγάλου μήκους, και μικρού βάθους [Σχ. 6.2.9.], κι άλλοτε τριχοειδείς [Σχ. 6.2.3.], καθώς και οξειδία του σιδήρου (σκουριά) άλλοτε με τη μορφή κρατήρων [Σχ.6.2.2. (β)] ή συσσωματωμάτων πολύ μικρής [Σχ. 6.2.1. (α)] ή μεγαλύτερης έκτασης [Σχ. 6.2.1. (β), 6.2.2. (α)]. Ακόμη παρατηρείται η απόσπαση τσιμεντοκονιάματος σε ορισμένο σημείο, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό οπής [Σχ. 6.2.18. (α)]. Τέλος, το έργο παρουσιάζει ορισμένες λευκές κηλίδες, οι οποίες συγκρινόμενες με τις εικόνες που ελήφθησαν για την αποκόλληση του φωτογραφικού στρώματος, φαίνεται να προσιδιάζουν μορφολογικά με αυτή. Δόκιμη κρίνεται, επομένως, η ένταξη των λευκών κηλίδων στην κατηγορία της αποκόλλησης του φωτογραφικού στρώματος.

- όσον αφορά στο τσιμεντοκονίαμα επίχρισης, αυτό παρουσιάζει εν γένει τραχεία υφή και πολύ μικρή ανομοιομορφία. Εμφανίζει άλλοτε πολλούς και μικρών διαστάσεων πόρους, άλλοτε λίγους και μεγάλων διαστάσεων κι άλλοτε ελάχιστους και μικροσκοπικών διαστάσεων, ενώ παρουσιάζει και ρωγμές με χαρακτηριστικά μεγάλο βάθος [Σχ. 6.2.15., 6.2.16.]. Τέλος, παρατηρείται και στην επιφάνειά του απώλεια υλικού, με τη μορφή σχηματισμού οπής [Σχ. 6.2.18. (β)].

- όσον αφορά στο τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης, από την αποτύπωση της σχηματιζόμενης διεπιφάνειας [Σχ. 6.2.17. (β)], παρατηρείται πως εμφανίζει εξίσου τραχεία υφή με τη γειτονική περιοχή του κάτω σοβά, μικρότερη ανομοιομορφία, χαρακτηριστικά διαφορετικό χρώμα, συγκεκριμένα τείνει περισσότερο προς το καφέ, ενώ η γειτονική περιοχή προς το μαύρο, ενώ διακρίνονται και χαρακτηριστικοί λευκοί κόκκοι, που πιθανά συνίστανται στα περιεχόμενα αδρανή, πράγμα το οποίο επαληθεύει την υπόθεση περί τελείως διαφορετικών αναλογιών πρώτων υλών.

- το έργο παρουσιάζει έναν ιδιαίτερο τύπο ρωγμών, τα κρακελαρίσματα, τα οποία συνίστανται σε δίκτυα ρωγμών. Τα κρακελαρίσματα εμφανίζονται μόνο στην κύρια επιφάνεια του έργου, ενώ αξιοσημείωτο είναι πως διαφοροποιούνται σημαντικότερα ανά απόχρωση. Πιο συγκεκριμένα, τα κρακελαρίσματα στην καφέ απόχρωση συνίστανται σε δίκτυα άλλοτε πολύ μεγάλων ρωγμών [Σχ. 6.2.24. (β), 6.2.25. (α)], άλλοτε πολύ μεγάλων ρωγμών με πολύ λίγες τριχοειδείς [Σχ. 6.2.24. (α)] κι άλλοτε μικρότερων ρωγμών, αλλά μεγαλύτερων από τριχοειδείς [Σχ. 6.2.25. (β)]. Τα κρακελαρίσματα στη μαύρη και τη λευκή απόχρωση συνίστανται σε λίγες και τριχοειδείς ρωγμές [Σχ. 6.2.26., 6.2.27. (β)],

ενώ τα κρακελαρίσματα στη γκρι απόχρωση σε πολλές και τριχοειδείς [Σχ. 6.2.27. (α)].

Η διαφορά υγροσκοπικότητας μεταξύ της ζελατίνης, η οποία είναι το συνηθέστερο συνδετικό φωτογραφικό υλικό, και του αμέσως υποκείμενου στρώματος του βερνικιού πολυουρεθάνης σε συνδυασμό με τις συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας φύλαξης του έργου, αλλά και με πιθανές διακυμάνσεις στα επίπεδα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, πιθανά εντείνουν τις διαστρωματικές τάσεις, εκτονούμενες στο μικρότερης αντοχής φωτογραφικό στρώμα και οδηγώντας στη δημιουργία των κρακελαρισμάτων.

- η αποτύπωση με το μικροσκόπιο οπτικών ινών των ξεφλουδισμάτων [Σχ. 6.2.22.] και των αποκολλήσεων [Σχ. 6.2.19., 6.2.20] καθιστά σχεδόν αναμφίβολο, το γεγονός ότι σχετίζονται με το στρώμα των φωτογραφικών υλικών, αφού και στις δύο περιπτώσεις διακρίνεται το διάφορο στρώμα του τσιμεντοκονιάματος. Τα ξεφλουδίσματα και οι αποκολλήσεις του φωτογραφικού στρώματος πιθανά οφείλονται στα ίδια αίτια, στα οποία οφείλεται και η δημιουργία των κρακελαρισμάτων, ενώ συνεργιστικά μπορεί να έχει επιδράσει και η υπερϊώδης ακτινοβολία, (π.χ. στην περίπτωση που το έργο ήταν εκτεθειμένο στο ηλιακό φως), η οποία διαχεόμενη απευθείας, λόγω της διαφάνειας της ζελατίνης, η οποία συνιστά το συνηθέστερο φωτογραφικό συνδετικό υλικό, μέχρι το στρώμα του βερνικιού πολυουρεθάνης, δύναται να μειώσει τη συνοχή του έως και, σε ακραία περίπτωση, να το καταστρέψει.

7.ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

7.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Κατά την πειραματική διαδικασία, για να διασφαλιστεί πως η σάρωση με το μικροσκόπιο οπτικών ινών θα γίνει σε όλη την επιφάνεια του έργου, χρησιμοποιήθηκαν δύο μετροταινίες, οι οποίες κολλήθηκαν στο πλαίσιο του έργου, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Η επιφάνεια του έργου κατατμήθηκε σε ορθογώνιες υποπεριοχές και ανά απόχρωση σαρώθηκε ολόκληρη με χρωματόμετρο μοντέλου KONICA Minolta. Από τα αποτελέσματα υπολογίστηκαν με το πρόγραμμα Microsoft Excel 2007 και για κάθε υποπεριοχή, οι μέσες χρωματικές παράμετροι L^*_{mean} , a^*_{mean} και b^*_{mean} . Στη συνέχεια και με χρήση του ίδιου προγράμματος υπολογίστηκαν για κάθε απόχρωση οι γενικοί μέσοι όροι των χρωματικών παραμέτρων $L^*_{meantotal}$, $a^*_{meantotal}$ και $b^*_{meantotal}$ και οι τυπικές αποκλίσεις τους $SL^*_{meantotal}$, $a_{meantotal}$ και $b^*_{meantotal}$ αντίστοιχα.

Για τη μαύρη και τη λευκή απόχρωση, υπολογίστηκαν επιπλέον οι ειδικοί μέσοι όροι των χρωματικών παραμέτρων για κάθε περιοχή και από αυτούς οι χρωματικές διαφορές, ΔE_{ab^*} , για κάθε συνδυασμό τους.



Σχ. 7.1.1. Συντεταγμένες κατάτμησης έργου σε ορθογώνιες υποπεριοχές

7.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά χρωματομετρούμενη απόχρωση. Αρχικά παρατίθενται οι φωτογραφίες των χρωματομετρούμενων υποπεριοχών, σε κάθε μία από τις οποίες σημειώνεται η περιοχή του έργου και οι συντεταγμένες των ορθογώνιων υποπεριοχών. Στη συνέχεια παρατίθενται οι μέσες χρωματικές παράμετροι για κάθε υποπεριοχή, οι γενικοί μέσοι όροι των χρωματικών παραμέτρων και οι τυπικές αποκλίσεις τους υπό μορφή πινάκων.

Για τη μαύρη και τη λευκή απόχρωση, παρατίθενται δύο ακόμη πίνακες, ένας με τους ειδικούς, ανά περιοχή, μέσους όρους των χρωματικών παραμέτρων και ένας με τις χρωματικές διαφορές για κάθε συνδυασμό περιοχών τους, ο τελευταίος εκ των οποίων παρατίθεται και για το τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης.

ΜΑΥΡΗ ΑΠΟΧΡΩΣΗ



(α)



(β)

Σχ.7.2.1. Μαύρο άνω σοβά (α) (107-121, 18-32), (β) (46-53, 18-32)



(α)



(β)

Σχ. 7.2.2. Μαύρο άνω σοβά (α) (63-82, 18-32), (β) (75-98, 18-32)



Σχ.7.2.3. Μαύρο άνω σοβά (144-149, 18-32)



(α)



(β)

Σχ. 7.2.4. Μαύρο κάτω σοβά (α) (6-24, 95-106), (β) (65-77, 95-106)



Σχ. 7.2.5. Μαύρο κάτω σοβά (110-130, 95-106)



(α)



(β)

Σχ.7.2.6. Μαύρο κύριας επιφάνειας (α) (26-38, 80-94), (β) (108-118, 74-85)



(α)



(β)

Σχ. 7.2.7. Μαύρο κύριας επιφάνειας (α) (31-51, 70-83), (β) (32-42, 30-66)



(α)



(β)

Σχ.7.2.8. Μαύρο κύριας επιφάνειας (α) (9-28, 55-81), (β) (9-30, 72-94)



(α)



(β)

Σχ. 7.2.9. Μαύρο κύριας επιφάνειας (α) (30-43, 8-18), (β) (67-73, 62-71)



(α)



(β)

Σχ. 7.2.10. Μαύρο κύριας επιφάνειας (α) (96-114, 8-11), (β) (122-149, 0-23)



Σχ. 7.2.11. Μαύρο κύριας επιφάνειας (120-149, 34-63)

Πίνακας 7.2.1. Μέσες χρωματικές παράμετροι ανά χρωματομετρούμενη υποπεριοχή

Συντεταγμένες	Σχόλια	Χρώμα	L* _{mean}	a* _{mean}	b* _{mean}
(107-121, 18-32)	Άνω σοβάς	μαύρο	32,2	-0,21	0,23
(46-53, 18-32)	Άνω σοβάς	μαύρο	31	-0,14	0,08
(63-82, 18-32)	Άνω σοβάς	μαύρο	31,4	-0,16	-0,17
(75-98, 18-32)	Άνω σοβάς	μαύρο	31,3	-0,18	0,27
(144-149, 18-32)	Άνω σοβάς	μαύρο	34,4	0	1,8
(6-24, 95-106)	Κάτω σοβάς	μαύρο	35,9	-0,19	1,9
(65-77, 95-106)	Κάτω σοβάς	μαύρο	33	-0,24	0,77
(110-130, 95-106)	Κάτω σοβάς	μαύρο	35,6	-0,25	0,79
(108-118, 74-85)	Κύρια επιφάνεια	μαύρο	36,8	0,09	1,03
(31-51, 70-83)	Κύρια επιφάνεια	μαύρο	31,3	0,07	0,23
(32-42, 30-66)	Κύρια επιφάνεια	μαύρο	30,8	0,1	0,27
(9-28, 55-81)	Κύρια επιφάνεια	μαύρο	32	0,06	0,54
(9-30, 72-94)	Κύρια επιφάνεια	μαύρο	34	0,05	0,66
(30-43, 8-18)	Κύρια επιφάνεια	μαύρο	31	0,17	0,67
(67-73, 62-71)	Κύρια επιφάνεια	μαύρο	33,5	0,18	1,2
(96-114, 8-11)	Κύρια επιφάνεια	μαύρο	31	0,06	0,59
(26-38, 80-94)	Κύρια επιφάνεια	μαύρο	33	0,01	0,63

(122-149, 0-23)	Κύρια επιφάνεια	μαύρο	29	0,21	0,49
(120-149, 34-63)	Κύρια επιφάνεια	μαύρο	31,8	0,07	0,51

Πίνακας 7.2.2. Γενικοί μέσοι όροι χρωματικών παραμέτρων και τυπικές αποκλίσεις αυτών

L* _{mean_{total}}	a* _{mean_{total}}	b* _{mean_{total}}	SL* _{mean_{total}}	Sa* _{mean_{total}}	Sb* _{mean_{total}}
32,6	-0,02	0,66	1,97	0,15	0,52

Πίνακας 7.2.3. Ειδικοί μέσοι όροι χρωματικών παραμέτρων ανά περιοχή

Περιοχή	L* _{mean_{total}}	a* _{mean_{total}}	b* _{mean_{total}}
Άνω σοβάς	32,1	-0,14	0,44
Κάτω σοβάς	34,8	-0,23	1,15
Κύρια επιφάνεια	32,2	0,10	0,62

Πίνακας 7.2.4. Χρωματικές διαφορές περιοχών

Συγκρινόμενες Περιοχές	ΔL^*_{mean}	Δa^*_{mean}	Δb^*_{mean}	ΔE^*_{ab}
Άνω σοβάς-Κάτω σοβάς	-2,8	0,09	-0,71	2,864
Κάτω σοβάς-Κύρια επιφάνεια	2,6	-0,32	-0,32	2,673
Άνω σοβάς -Κύρια επιφάνεια	-0,1	-0,24	-0,32	0,424

ΛΕΥΚΗ ΑΠΟΧΡΩΣΗ



(α)



(β)

Σχ. 7.2.12. Λευκό άνω σοβά (α) (2-42, 18-32), (β) (52-70, 18-32)



(α)

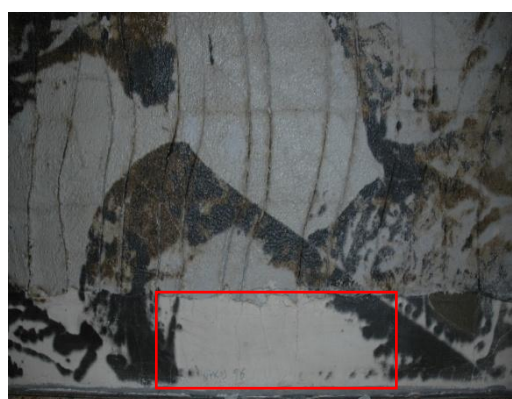


(β)

Σχ. 7.2.13. Λευκό άνω σοβά (α) (72-106, 18-32), (β) (119-143, 18-32)



(α)



(β)

Σχ. 7.2.14. Λευκό κάτω σοβά (α) (30-60, 94-108), (β) (74-110, 94-108)



(α)



(β)

Σχ. 7.2.15. Λευκό κύριας επιφάνειας (α) (37-70, 60-95), (β) (70-108, 46-88)



(α)



(β)

Σχ. 7.2.16. Λευκό κηλίδας κύρια επιφάνεια (α) (70-108, 46-88), (β) (70-108, 46-88)



(α)



(β)

Σχ. 7.2.17. Λευκό κύριας επιφάνειας (α) (76-96, 84-94), (β) (97-146, 10-70)

Πίνακας 7.2.5. Μέσες χρωματικές παράμετροι ανά χρωματομετρούμενη υποπεριοχή

Συντεταγμένες	Σχόλια	Χρώμα	L* _{mean}	a* _{mean}	b* _{mean}
(2-42, 18-32)	Άνω σοβάς	λευκό	61,4	0,92	9,81
(52-70, 18-32)	Άνω σοβάς	λευκό	63,4	0,75	11,32
(72-106, 18-32)	Άνω σοβάς	λευκό	70,6	0,46	11,33
(119-143, 18-32)	Άνω σοβάς	λευκό	71,9	0,26	9,77
(30-60, 94-108)	Κάτω σοβάς	λευκό	80,3	0,29	10,21
(74-110, 94-108)	Κάτω σοβάς	λευκό	76,6	0,4	10,61
(37-70, 60-95)	Κύρια επιφάνεια	λευκό	63,4	0,05	8,5
(70-108, 46-88)	Κύρια επιφάνεια	λευκό	64,4	-0,02	7,9
(70-108, 46-88)	Κηλίδα	λευκό	64,5	-0,02	2,69
(70-108, 46-88)	Κηλίδα	λευκό	66	0,05	3,97
(76-96, 84-94)	Κύρια επιφάνεια	λευκό	64,8	0,14	7,15
(97-146, 10-70)	Κύρια επιφάνεια	λευκό	63,4	0,06	7,03

Πίνακας 7.2.6. Γενικοί μέσοι όροι χρωματικών παραμέτρων και τυπικές αποκλίσεις αυτών

L* _{meantotal}	a* _{meantotal}	b* _{meantotal}	SL* _{meantotal}	Sa* _{meantotal}	Sb* _{meantotal}
67,6	0,28	8,36	5,71	0,29	2,66

Πίνακας 7.2.7. Ειδικοί μέσοι όροι χρωματικών παραμέτρων ανά περιοχή

Περιοχή	L* _{meantotal}	a* _{meantotal}	b* _{meantotal}
Άνω σοβάς	66,8	0,60	10,56
Κάτω σοβάς	78,5	0,35	10,41
Κύρια επιφάνεια	64,4	0,04	6,21
Κηλίδα	65,3	0,02	3,33

Πίνακας 7.2.8. Χρωματικές διαφορές περιοχών

Συγκρινόμενες Περιοχές	ΔL^*_{mean}	Δa^*_{mean}	Δb^*_{mean}	ΔE^*_{ab}
Άνω σοβάς-Κάτω σοβάς	-11,6	0,25	0,15	11,629
Κάτω σοβάς-Κύρια επιφάνεια	14,0	0,30	4,20	14,652
Άνω σοβάς -Κύρια επιφάνεια	2,4	0,55	4,35	5,004
Κηλίδα κύριας επιφάνειας - Κύρια επιφάνεια	-0,8	0,03	2,88	2,995

ΚΑΦΕ ΑΠΟΧΡΩΣΗ

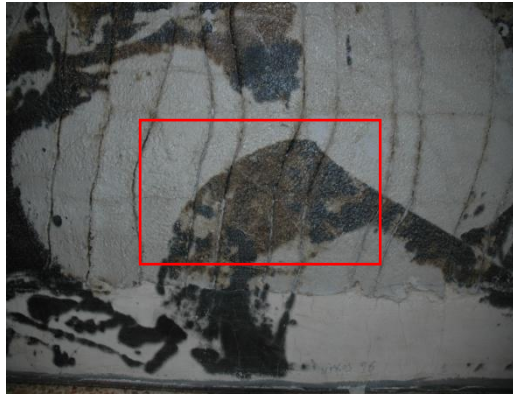


(α)



(β)

Σχ. 7.2.18. Καφέ κύριας επιφάνειας (α) (63-76, 54-85), (β) (71-104, 44-53)



(α)



(β)

Σχ. 7.2.19. Καφέ κύριας επιφάνειας (α) (65-80, 74-90), (β) (116-141, 53-86)

Πίνακας 7.2.9. Μέσες χρωματικές παράμετροι ανά χρωματομετρούμενη υποπεριοχή

Συντεταγμένες	Σχόλια	Χρώμα	L^*_{mean}	a^*_{mean}	b^*_{mean}
(63-76, 54-85)	Κύρια επιφάνεια	καφέ	37	3,25	9,62
(71-104, 44-53)	Κύρια επιφάνεια	καφέ	38,8	2,8	9,8
(65-80, 74-90)	Κύρια επιφάνεια	καφέ	34,3	2,4	8,2
(116-141, 53-86)	Κύρια επιφάνεια	καφέ	48,2	3,07	11,98

Πίνακας 7.2.10. Γενικοί μέσοι όροι χρωματικών παραμέτρων και τυπικές αποκλίσεις αυτών

$L^*_{mean_{total}}$	$a^*_{mean_{total}}$	$b^*_{mean_{total}}$	$SL^*_{mean_{total}}$	$Sa^*_{mean_{total}}$	$Sb^*_{mean_{total}}$
39,6	2,9	9,9	5,23	0,32	1,35

ΓΚΡΙ ΑΠΟΧΡΩΣΗ



(α)



(β)

Σχ. 7.2.20. Γκρι άνω σοβά (α) (15-27, 25-33), (β) (126-143, 17-32)

Πίνακας 7.2.11. Μέσες χρωματικές παράμετροι ανά χρωματομετρούμενη υποπεριοχή

Συντεταγμένες	Σχόλια	Χρώμα	L* _{mean}	a* _{mean}	b* _{mean}
(15-27, 25-33)	Άνω σοβάς	γκρι	45	0,32	4,7
(126-143, 17-32)	Άνω σοβάς	γκρι	42,25	2,13	4,21

Πίνακας 7.2.12. Γενικοί μέσοι όροι χρωματικών παραμέτρων και τυπικές αποκλίσεις αυτών

L* _{mean_{total}}	a* _{mean_{total}}	b* _{mean_{total}}	SL* _{mean_{total}}	Sa* _{mean_{total}}	Sb* _{mean_{total}}
43,6	1,2	4,5	1,38	0,91	0,24

ΚΑΦΕΤΙ ΑΠΟΧΡΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



Σχ. 7.2.21. Καφετί τσιμεντοκονιάματος αποκατάστασης

Πίνακας 7.2.13. Γενικοί μέσοι όροι χρωματικών παραμέτρων

Συντεταγμένες	Σχόλια	Χρώμα	L* _{mean}	a* _{mean}	b* _{mean}
(120-130, 96-100)	Τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης	Καφετί	40	1,26	8,6

Πίνακας 7.2.14. Χρωματικές διαφορές

Συγκρινόμενες Περιοχές	ΔL^*_{mean}	Δa^*_{mean}	Δb^*_{mean}	ΔE^*_{ab}
Καφετί – μαύρο κάτω σοβά	4,4	1,51	4,39	6,396
Καφετί – λευκό κάτω σοβά	-34,4	0,86	-2,01	34,420

7.3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα σχολιάζονται ανά χρωματομετρούμενη απόχρωση. Πιο συγκεκριμένα:

- όσον αφορά στη μαύρη απόχρωση, από τον υπολογισμό των γενικών μέσων όρων για τις χρωματικές παραμέτρους [Πίνακας 7.2.2.], φαίνεται πως οι μέσοι όροι για τις παραμέτρους της χροιάς και του κορεσμού εμφανίζουν πολύ μικρές αποκλίσεις, κινούμενες στη γειτονιά του μηδενός, ενώ ο γενικός μέσος όρος για την παράμετρο της φωτεινότητας εμφανίζει τυπική απόκλιση που πιθανά χρήζει περαιτέρω σχολιασμού.

Από τον υπολογισμό των ειδικών μέσων όρων των χρωματικών παραμέτρων μέσων για κάθε περιοχή του έργου [Πίνακας 7.2.3.], φαίνεται πως η μεγαλύτερη απόκλιση από το γενικό μέσο όρο για την παράμετρο της φωτεινότητας εντοπίζεται στην περιοχή του κάτω σοβά.

Η επίστρωση μικρότερου πάχους φωτογραφικών υλικών, λόγω της χειρονακτικής επίστρωσης των φωτογραφικών υλικών από μέρους του καλλιτέχνη, σε συνδυασμό με πιθανά καλύτερη πρόσφυση των φωτογραφικών υλικών στην επιφάνεια του σοβά, η οποία όπως έδειξε η μικροσκοπία οπτικών παρουσιάζει εν γένει μεγαλύτερη τραχύτητα και λιγότερη ανομοιομορφία σε σχέση με την κύρια επιφάνεια του έργου, πιθανά ευθύνονται για την απόκλιση αυτή.

- όσον αφορά στη λευκή απόχρωση, οι γενικοί μέσοι όροι για τις χρωματικές παραμέτρους [Πίνακας 7.2.6.] εμφανίζουν αξιοσημείωτα μεγάλη απόκλιση για τη χρωματική παράμετρο της φωτεινότητας και μεγάλη τυπική απόκλιση για τη χρωματική παράμετρο του κορεσμού, ενώ η χρωματική παράμετρος της χροιάς εμφανίζεται εξαιρετικά σταθερή κινούμενη στη γειτονιά του μηδενός, με αμελητέα, συγκριτικά με τις προαναφερθείσες, τυπική απόκλιση.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των ειδικών μέσων όρων των χρωματικών παραμέτρων ανά περιοχή [Πίνακας 7.2.7.], συμπεριλαμβανομένων και των λευκών κηλίδων, παρατηρείται πως όλοι οι μέσοι όροι, πλην αυτού του κάτω σοβά, κινούνται πολύ κοντά στην τιμή του γενικού μέσου όρου φωτεινότητας.

Η θεώρηση όμως για την λευκή απόχρωση χρειάζεται να γίνει αντίστροφα στη συγκεκριμένη περίπτωση, αφού το λευκό αναμένεται να έχει πολύ υψηλότερες τιμές φωτεινότητας, κάτι το οποίο φαίνεται να ισχύει μόνο στην περίπτωση του κάτω σοβά. Έτσι, αυτό που χρήζει σχολιασμού είναι το γιατί οι ειδικοί μέσοι όροι για την περιοχή του λευκού είναι τόσο χαμηλοί, οδηγώντας προφανώς στο χαμηλό γενικό μέσο όρο, και όχι γιατί το λευκό του κάτω σοβά παρουσιάζει μεγάλη τυπική απόκλιση. Ο χαμηλός γενικός μέσος όρος φωτεινότητας μπορεί να οφείλεται στη δέσμευση του φωτογραφικού συνδετικού μέσου από αέριους ρυπαντές, όπως είναι η αιθάλη, εκπομπή της οποίας είναι γνωστό ότι υπήρξε εξαιτίας του περιστατικού πυρκαϊάς που έλαβε χώρα στο χώρο φύλαξης του έργου, σε συνδυασμό με τις υφιστάμενες συνθήκες φύλαξης του έργου, για

παράδειγμα, υψηλή σχετική υγρασία και τη χρησιμοποιούμενη τεχνική από μέρους του καλλιτέχνη.

Όσον αφορά στη χρωματική παράμετρο του κορεσμού, άξια σχολιασμού είναι ο μεγάλος γενικός μέσος όρος της ($b^*_{\text{mean total}} = 8,36$), και η μεγαλύτερη παρατηρούμενη τυπική απόκλιση, η οποία παρατηρείται για τις λευκές κηλίδες του έργου ($b^*_{\text{mean total}} = 3,33$).

Η σαφής μετατόπιση του γενικού μέσου όρου της παραμέτρου του κορεσμού στον άξονα του κίτρινου πιθανά οφείλεται στην ύπαρξη θειικών ριζών, οι οποίες ανακλούν στο κίτρινο, και οι οποίες με τη σειρά τους μπορεί να οφείλονται είτε σε περίσσεια του θειοθειικού νατρίου, λόγω κακής επεξεργασίας από μέρους του καλλιτέχνη, σε συνδυασμό με συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας, είτε στη επίδραση άλλων αέριων ρυπαντών (π.χ. υδρόθειο) σε συνδυασμό και πάλι με συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας.

Η μεγάλη τυπική απόκλιση ως προς τη χρωματική παράμετρο του κορεσμού που εμφανίζουν οι λευκές κηλίδες πιθανά σχετίζεται με το γεγονός ότι αυτές, όπως έδειξε η μικροσκοπία οπτικών ινών, συνίστανται σε περιοχές στις οποίες το φωτογραφικό στρώμα έχει αποκολληθεί.

- Η μεγαλύτερη ομοιομορφία που παρουσιάζει η μαύρη απόχρωση σε σύγκριση με τη λευκή επαληθεύεται και από τον υπολογισμό του μεγέθους της χρωματικής διαφοράς.

Οι χρωματικές διαφορές στην περιοχή της λευκής απόχρωσης [Πίνακας 7.2.8] είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές για τη μαύρη απόχρωση [Πίνακας 7.2.4.]. Η μεγαλύτερη διαφορά για την μαύρη απόχρωση παρατηρείται μεταξύ άνω και κάτω σοβά, ενώ για τη λευκή μεταξύ άνω και κάτω σοβά, καθώς και μεταξύ κάτω σοβά και κύριας επιφάνειας. Μάλιστα, αξίζει να σημειωθεί πως η χρωματική διαφορά μεταξύ του λευκού στον άνω σοβά και του λευκού στον κάτω σοβά, επαληθεύει την μακροσκοπική παρατήρηση που έγινε, ήδη, με τη μέθοδο της μακροφωτογραφίας και αφορά στο γεγονός πως το λευκό του κάτω σοβά είναι αισθητά πιο έντονο σε σύγκριση με αυτό του άνω σοβά.

- Όσον αφορά στη γκρι απόχρωση, ο γενικός μέσος όρος της χρωματικής παραμέτρου της φωτεινότητας, κυμαίνεται ανάλογα με τα αναμενόμενα⁶¹, όντας μεγαλύτερος των αντίστοιχων για τη μαύρη και την καφέ απόχρωση και μικρότερος του αντίστοιχου για τη λευκή [Πίνακας 7.2.12.]. Η μέση χρωματική παράμετρος της χροιάς κινείται με μικρή απόκλιση στη γειτονιά του μηδενός, ενώ η απόκλιση της χρωματικής παραμέτρου του κορεσμού, ως προς το μηδέν, ($b^*_{\text{mean total}} = 4,5$), πιθανά να σχετίζεται με την επίδραση αέριων ρυπαντών ή υπολειμμάτων, λόγω κακής επεξεργασίας, σε συνδυασμό με συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας, με τον ίδιο τρόπο που μπορεί να σχετίζεται, κατά τα προαναφερθέντα, και η ίδια χρωματική παράμετρος για τη λευκή απόχρωση. Στην περίπτωση, μάλιστα, που το γκρι υπήρχε εξαρχής στο έργο, η απόκλιση αυτή πιθανά οφείλεται στο σχηματισμό πολύ μικρής συγκέντρωσης θείουχου αργύρου.

- Όσον αφορά στην καφέ απόχρωση οι γενικοί μέσοι όροι των χρωματικών παραμέτρων [Πίνακας 7.2.10.] ανταποκρίνονται στα θεωρητικώς αναμενόμενα⁶¹.

συγκεκριμένα η τιμή της φωτεινότητας αντιστοιχεί σε χρώμα λιγότερο σκούρο του μαύρου και περισσότερο του γκρι και του λευκού, ενώ οι, ανάλογα μετατοπισμένες προς τα θετικά, τιμές των παραμέτρων της χροιάς και του κορεσμού (άξονας κόκκινου και άξονας κίτρινου αντίστοιχα) σε χρώμα 'πορτοκαλίζουσας' χροιάς.

Η καφέ απόχρωση σε συνάρτηση με τα φωτογραφικά υλικά μπορεί να οφείλεται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, τόσο σε ανεπαρκές τελευταίο πλύσιμο προς απομάκρυνση του θειοθειικού νατρίου (hyro), συνυπολογίζοντας την πιθανότητα διάσπασης του θειοθειικού νατρίου προς θείο στην περίπτωση υπολειμμάτων του εμφανιστή, όσο και στην επίδραση αέριων οξειδωτικών ρύπων (υδρόθειο) σε συνδυασμό με συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας. Έτσι, η μεγάλη τυπική απόκλιση που παρουσιάζει ο γενικός μέσος όρος της χρωματικής παραμέτρου της φωτεινότητας πιθανά οφείλεται στο συνδυασμό των δύο αυτών αιτιών, στην έννοια ότι το αρχικό, λόγω κακής επεξεργασίας, καφέ εντάθηκε στη συνέχεια υπό την επίδραση αέριων ρυπαντών, όπως το υδρόθειο.

- Η χρωματική ασυμβατότητα του τσιμεντοκονιάματος αποκατάστασης έχει ήδη σημειωθεί, ότι συνίσταται σε δύο τεινά, καταρχήν στο ότι εμφανίζει τελείως διαφορετικό χρώμα σε σχέση με τα δύο χρώματα του κάτω σοβά, το λευκό και το μαύρο, καθώς και ότι το αρχικό κονίαμα το οποίο αντικαθιστά ήταν δίχρωμο, ενώ το εν λόγω τσιμεντοκονίαμα είναι μονόχρωμο.

Οι υπολογισμένες χρωματικές διαφορές [Πίνακας 7.2.14.] μεταξύ του τσιμεντοκονιάματος αποκατάστασης και της πλησιέστερης σε αυτό μαύρης [(x,y) = (110-130, 95-106)] και λευκής [(x,y) = (74-110, 94-108)] απόχρωσης επαληθεύουν περίτρανα την εν λόγω ασυμβατότητα.

- Τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας μπορούν να αποτελέσουν τιμές βάσης, σε ενδεχόμενη επανεξέταση του έργου.

8. ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ

8.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η επιφάνεια του έργου (πρόσθια και οπίσθια) θερμογραφήθηκε με τις μεθόδους της παθητικής προσέγγισης και της ενεργητικής προσέγγισης.

Το θερμογραφικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από την κάμερα InfraCAM Wester (FLIR i5) της εταιρείας FLIR SYSTEMS.

Αρχικά εφαρμόστηκε η παθητική προσέγγιση, η οποία έδωσε ισχνά αποτελέσματα. Στη συνέχεια, το έργο διεγέρθηκε θερμικά, μέσω ακτινοβολήσης από λάμπα υπερύθρου, MODEL SRU-1624 SERIA 1298, της εταιρείας INFRA TECH CORPORATION, η οποία ακτινοβολεί 1500W σε 240V. Η διάρκεια κάθε ακτινοβολήσης ήταν δέκα λεπτά.

Η επεξεργασία των θερμογραφημάτων έγινε με το πρόγραμμα ThermaCAM QuickReport 1.1 που δίνεται από την κατασκευάστρια εταιρεία του θερμογραφικού συστήματος FLIR SYSTEMS. Για την επεξεργασία των θερμογραφημάτων ελήφθησαν υπόψη ο συντελεστής εκπομπής του εξεταζόμενου έργου, ο οποίος πάρθηκε ίσος με 0,93, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η οποία κατά μέσο όρο πάρθηκε ίση με 20 °C, η σχετική υγρασία, η οποία κατά μέσο όρο πάρθηκε ίση με 40% και η εκάστοτε απόσταση της επιφάνειας του έργου από το θερμογραφικό σύστημα.

8.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

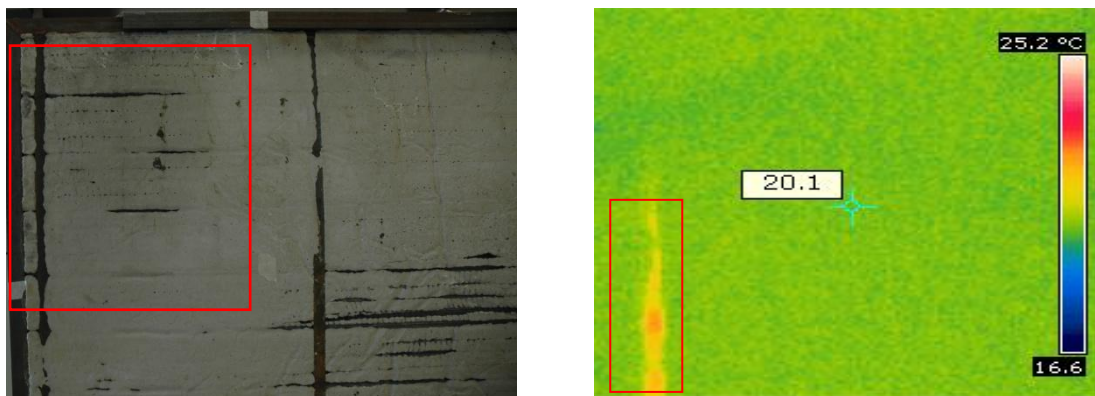
Αρχικά παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικά δείγματα θερμογραφημάτων, τα οποία ελήφθησαν κατά τον παθητικό έλεγχο του έργου, ένα για την οπίσθια και ένα για την πρόσθια όψη του έργου. Εν συνεχεία παρουσιάζονται τα θερμογραφήματα που ελήφθησαν κατά τον ενεργητικό έλεγχο του έργου, πρώτα παρουσιάζονται τα θερμογραφήματα για την οπίσθια όψη του έργου κι έπειτα τα θερμογραφήματα για την πρόσθια όψη του έργου. Τα επεξεργασμένα θερμογραφήματα παρατίθενται με τις φωτογραφίες που αντιστοιχούν στην εκάστοτε θερμογραφούμενη περιοχή, ενώ κάθε φορά σημειώνεται και η απόσταση του θερμογραφικού συστήματος από το έργο.

Παθητικός θερμογραφικός έλεγχος

Η χαμηλή θερμοκρασία σε συνδυασμό με τους παραπλήσιους συντελεστές εκπομπής των υλικών [59] του έργου πιθανά ευθύνονται για τα ισχνά λαμβανόμενα θερμικά αποτυπώματα του έργου.

Πίσω Όψη

Η θερμοκρασία του έργου παρουσιάζεται ομοιόμορφη, με αποτέλεσμα μόλις να διακρίνεται ο οπλισμός στήριξης του έργου.



Σχ. 8.2.1. Οπλισμός του έργου σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 1m$

Πρόσθια Όψη

Η θερμοκρασία του έργου είναι εμφανέστερα ομοιόμορφη για την πρόσθια όψη του έργου, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει κανένα διακριτικό στο λαμβανόμενο θερμικό αποτύπωμα, που ακολουθεί.

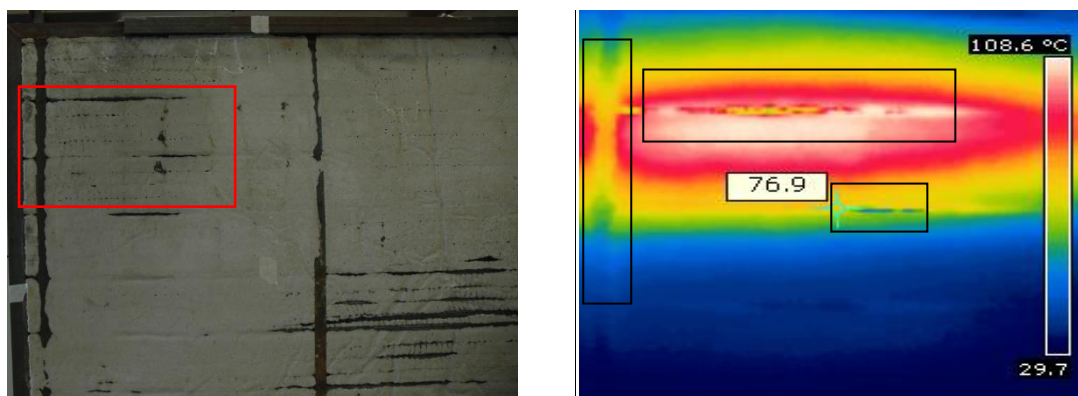


Σχ. 8.2.2. Θερμογράφημα σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 1,07m$

Ενεργητικός θερμογραφικός έλεγχος

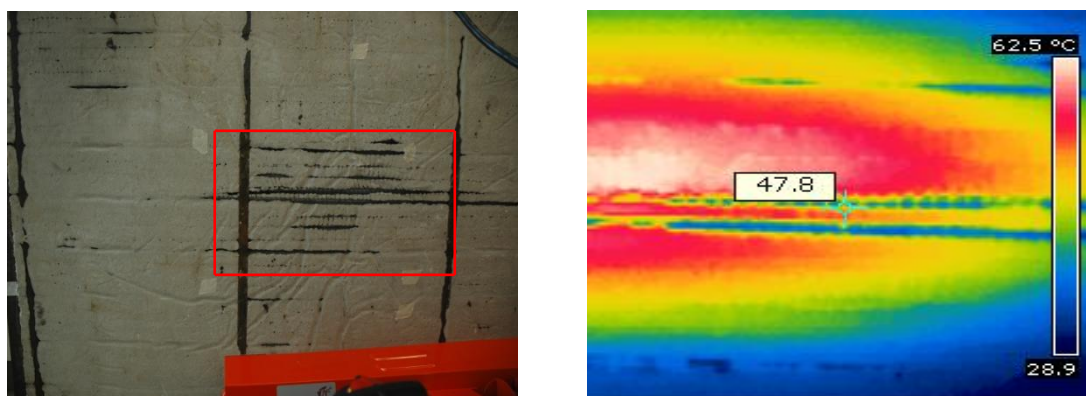
Οπίσθια Όψη

Η διαφορά γίνεται αμέσως αισθητή με την εφαρμογή του ενεργητικού θερμογραφικού ελέγχου. Η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του χάλυβα του πλέγματος λαμαρίνας (ανοξειδωτος χάλυβας [60]), σε σχέση με αυτή του κοινού χάλυβα του οπλισμού έχει ως αποτέλεσμα να διακρίνονται τόσο ο οπλισμός στήριξης του έργου, όσο και το ίδιο το πλέγμα λαμαρίνας, το οποίο παρουσιάζει την υψηλότερη θερμοκρασία.



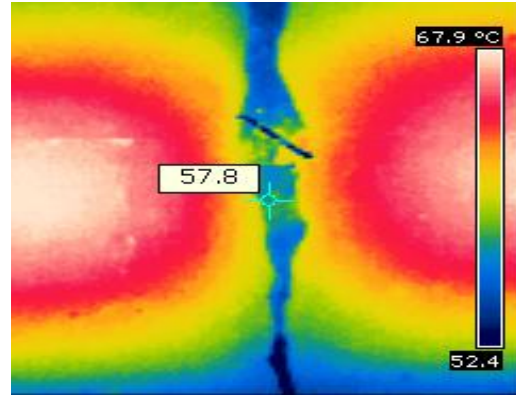
Σχ. 8.2.3. Οπλισμός και πλέγμα λαμαρίνας σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 20\text{cm}$

Το πλέγμα λαμαρίνας εμφανίζεται με μεγαλύτερη διακριτικότητα στο θερμογράφημα που ακολουθεί.



Σχ. 8.2.4. Πλέγμα λαμαρίνας σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 21\text{cm}$

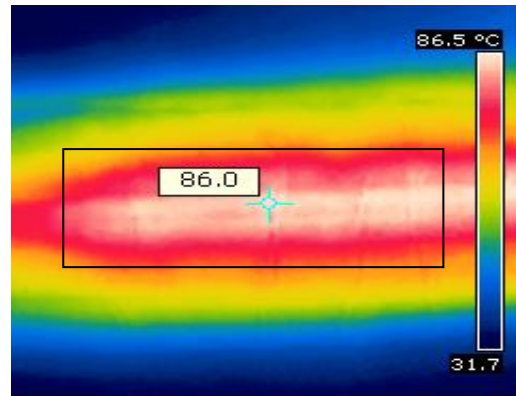
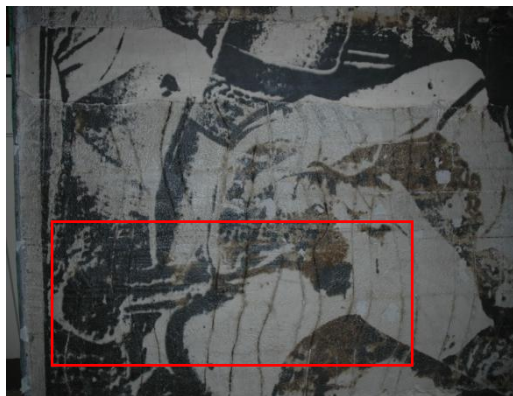
Η υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα του κοινού χάλυβα του οπλισμού, και δει του διαβρωμένου χάλυβα, σε σύγκριση με τη θερμική αγωγιμότητα του ανοξειδωτου χάλυβα του πλέγματος λαμαρίνας, καθιστά διακριτό τόσο το χαλύβδινο οπλισμό, όσο και το χαλύβδινο σύρμα με το οποίο προσδένεται το πλέγμα στους οπλισμούς, όπως φαίνεται ακολούθως.



Σχ. 8.2.5. Κάθετος σπλισμός σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 28cm$

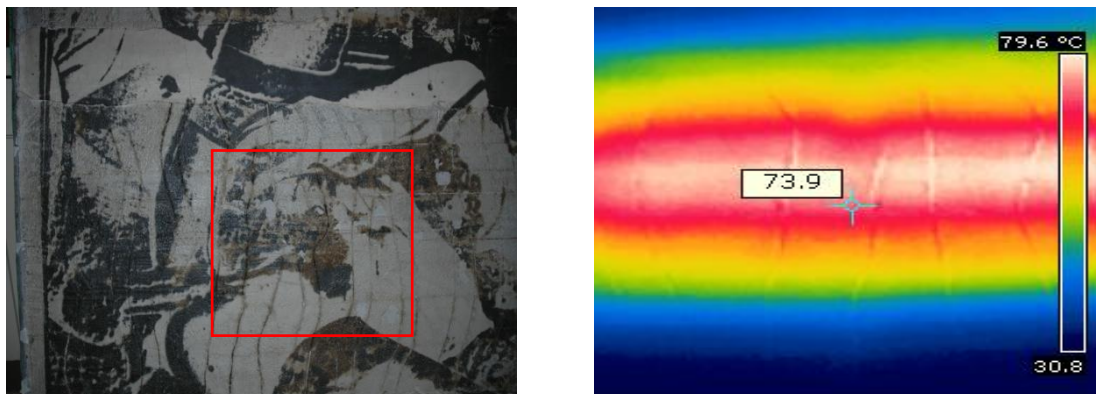
Πρόσθια Όψη

Στο ακόλουθο θερμογράφημα αποτυπώνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες χαράξεις του έργου, ενώ η περιοχή που φέρει την υψηλότερη θερμοκρασία (λευκό χρώμα) συνίσταται στο πλέγμα λαμαρίνας.

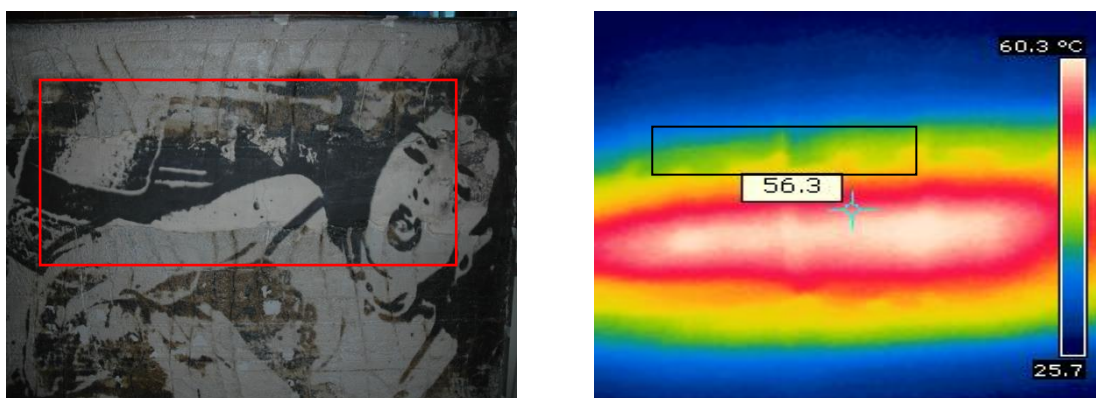


Σχ. 8.2.6. Καμπύλες χαράξεις σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 70cm$

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες χαράξεις του έργου φαίνονται και στα θερμογραφήματα που ακολουθούν.

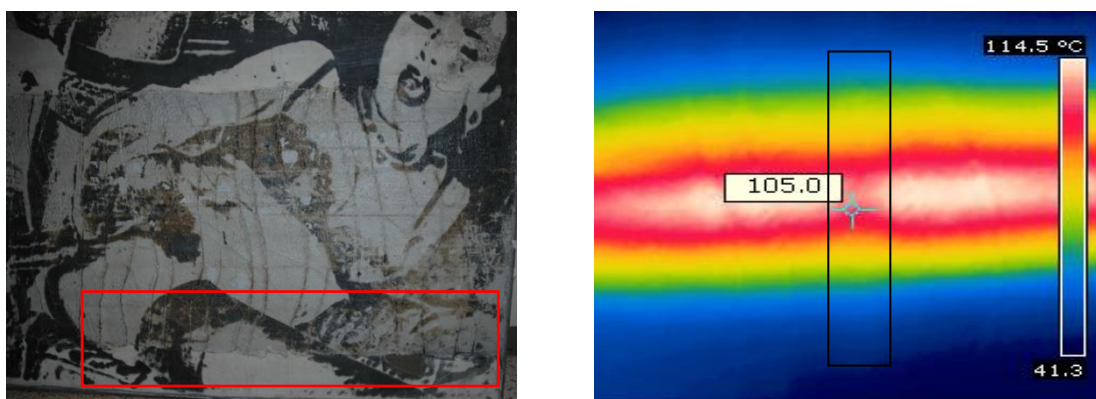


Σχ. 8.2.7. Καμπύλες χαράξεις σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 70cm$

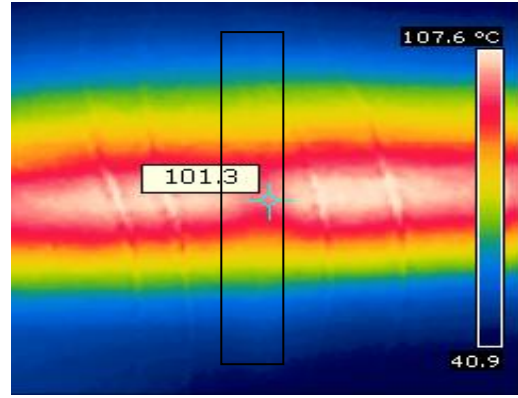


Σχ. 8.2.8. Καμπύλες χαράξεις σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 20cm$

Η σημειούμενη εγκοπή πιθανά ταυτίζεται με την ύπαρξη σπλισμού, στο στηρικτικό πλαίσιο του έργου, ο οποίος δε φαίνεται στην πρόσθια όψη, με γυμνό μάτι.

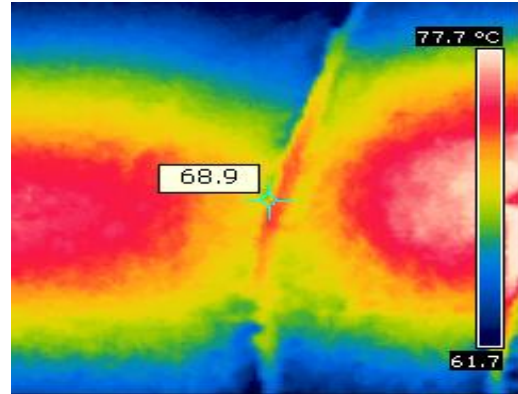


Σχ. 8.2.9. Πιθανός σπλισμός, σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 30cm$



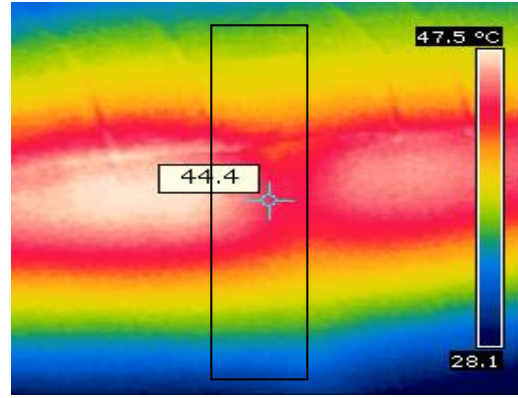
Σχ. 8.2.10. Πιθανός σπλισμός, σε απόσταση κάμερας, **d_{cam} = 30cm**

Η προαναφερθείσα εγκοπή παρουσιάζεται και υψηλότερα στο έργο, όπως φαίνεται στο θερμογράφημα που ακολουθεί, στο οποίο φαίνεται επιπλέον και μία από τις χαρακτηριστικές καμπύλες χαραξίς του έργου.

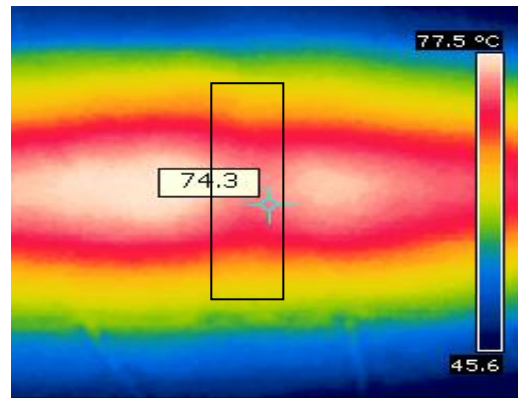


Σχ. 8.2.11. Καμπύλη χάραξη που συμπίπτει με την περιοχή πιθανής ύπαρξης σπλισμού σε απόσταση κάμερας, **d_{cam} = 97cm**

Αντίστοιχη με την προαναφερθείσα εγκοπή παρατηρείται και στα θερμογραφήματα που ακολουθούν, πράγμα το οποίο σημαίνει πως αν ισχύει η υπόθεση περί σπλισμού, τότε η συγκεκριμένη εγκοπή θέτει πιθανότητα, για την ύπαρξη ενός ακόμα σπλισμού, ο οποίος δεν είναι ορατός με γυμνό μάτι.

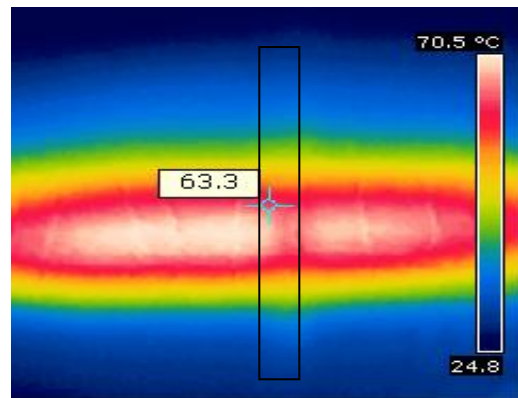


Σχ. 8.2.12. Πιθανός σπλισμός σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 24\text{cm}$

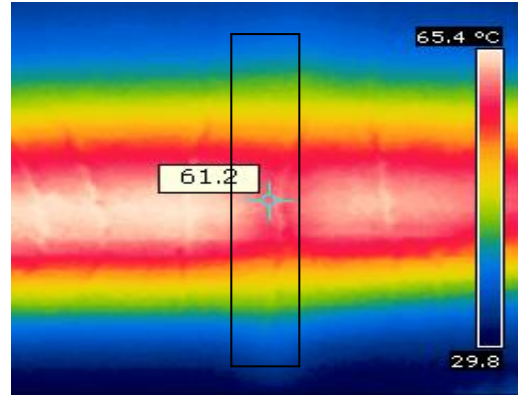


Σχ. 8.2.13. Πιθανός σπλισμός σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 30\text{cm}$

Η ίδια εγκοπή με την προηγούμενη παρατηρείται και για μεγαλύτερες αποστάσεις του θερμογραφικού συστήματος από το έργο, όπως φαίνεται στα θερμογραφήματα που ακολουθούν.

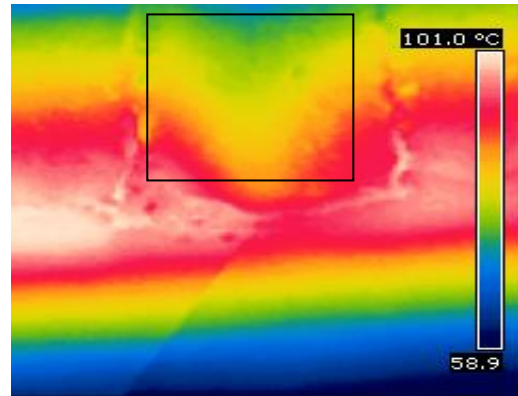
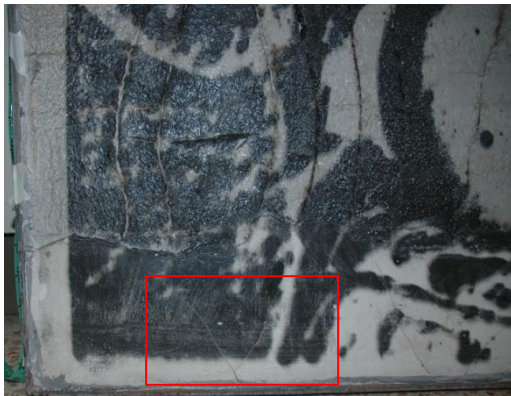


Σχ. 8.2.14. Πιθανός σπλισμός σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 1\text{m}$



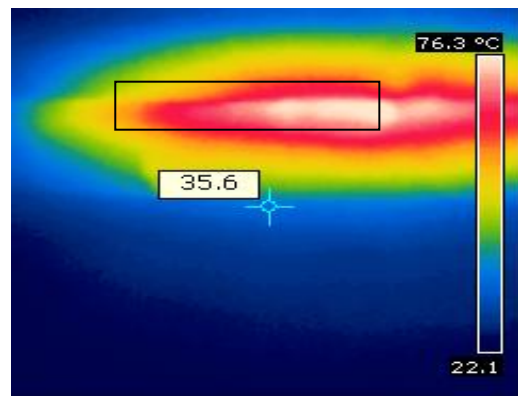
Σχ. 8.2.15. Πιθανός σπλισμός σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 1m$

Η σημειούμενη τριγωνική ρωγή του κάτω σοβά αποτυπώνεται θερμικά, όπως φαίνεται στο θερμογράφημα που ακολουθεί.



Σχ. 8.2.16. Τριγωνική ρωγή κάτω σοβά σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 1m$

Η σημειούμενη διεπιφάνεια μεταξύ του άνω σοβά και της κύριας επιφάνειας του έργου έχει το θερμικό αποτύπωμα που ακολουθεί.



Σχ. 8.2.17. Διεπιφάνεια σοβά και κύριας επιφάνειας σε απόσταση κάμερας, $d_{cam} = 154cm$

8.3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

- Το έργο θερμογραφήθηκε αρχικά με παθητικό θερμογραφικό έλεγχο. Πιθανά λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με τους παραπλήσιους συντελεστές εκπομπής των υλικών του, τα επεξεργασμένα θερμογραφήματα που λαμβάνονται παρουσιάζουν από ελάχιστα ανομοιόμορφη [Σχ. 8.2.1.] έως απόλυτα ομοιόμορφη [Σχ. 8.2.2.] θερμοκρασία.

- Το έργο στη συνέχεια ακτινοβολείται με λάμπα υπερύθρου, με διάρκεια ακτινοβολήσης που ανέρχεται στα δέκα λεπτά.

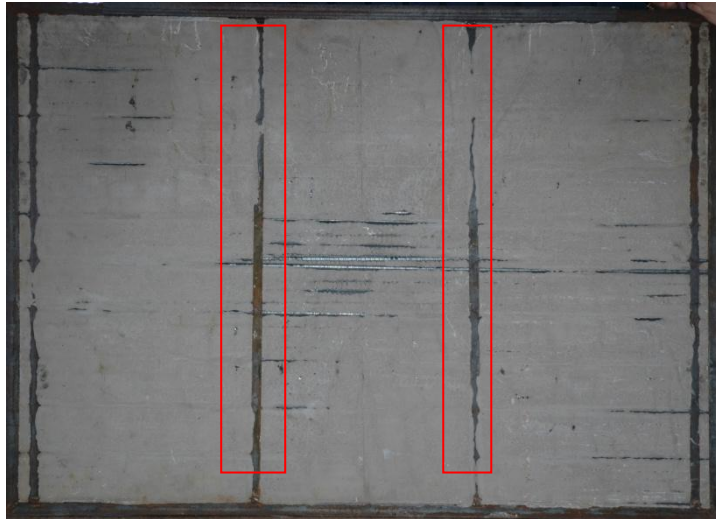
Ο ενεργητικός θερμογραφικός έλεγχος, εφαρμοζόμενος στην οπίσθια όψη του έργου, δίνει σημαντικότερες πληροφορίες ως προς την κατασκευαστική του ιδιαιτερότητα. Συγκεκριμένα διακρίνονται, οι σιδηροπλισμοί και το πλέγμα λαμαρίνας [Σχ. 8.2.3.], καθώς και τα χαλύβδινα σύρματα [Σχ. 8.2.5.], μέσω των οποίων προσδέεται το πλέγμα λαμαρίνας στους σιδηροπλισμούς.

- Ο ενεργητικός θερμογραφικός έλεγχος, εφαρμοζόμενος στην πρόσθια όψη του έργου, αφήνει την υπόνοια για την ύπαρξη δύο σπλισμών [Σχ. 8.2.10., 8.2.15.], στο στηρικτικό πλαίσιο του έργου οι οποίοι δε διακρίνονται με γυμνό μάτι. Λόγω του ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση οι σιδηροπλισμοί του πλαισίου, είναι ορατοί στην οπίσθια όψη του έργου, επαληθεύεται πως οι περιοχές στις οποίες παρατηρήθηκε στην πρόσθια όψη η πιθανότητα ύπαρξης σιδηροπλισμού, ταυτίζονται με περιοχές στις οποίες πράγματι υπάρχουν σιδηροπλισμοί.

Οι περιοχές στις οποίες εντοπίζονται οι δύο πιθανοί σπλισμοί στην πρόσθια όψη και οι αντίστοιχες τους στην οπίσθια όψη φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν.



Σχ.8.2.19. Πιθανοί σιδηροπλισμοί



Σχ. 8.2.20. Σιδηροπλισμοί

9. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τα υλικά του έργου 'Ερωτικό' και της σειράς έργων 'Τσιμέντα' του Νίκου Κεσσανλή συνιστούν μία μοναδική περίπτωση συνδυασμού υλικών. Ο δομικός χάλυβας, ο ανοξείδωτος χάλυβας, το κοινό τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης, το τσιμεντοκονίαμα επίχρισης, το βερνίκι πολυουρεθάνης και τα φωτογραφικά υλικά δημιουργούν ένα ιδιαίτερα πρωτότυπο δυναμικό αλληλεπίδρασης.
- Οι βασικές φθορές που παρουσιάζει το έργο είναι η διάβρωση του σιδηροπλισμού, η ρηγμάτωση των κονιαμάτων, η ρήξη του τσιμεντοκονιάματος επίχρισης, η αποκόλληση και το ξεφλούδισμα του φωτογραφικού στρώματος
- Ως βασικοί υπαίτιοι παράγοντες φθοράς προκρίνονται οι περιβαλλοντικές συνθήκες (αέριοι ρύποι, υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας, διακυμάνσεις στα επίπεδα σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας) σε συνδυασμό με την σύσταση των υλικών και τη χρησιμοποιούμενη τεχνική, από μέρους του καλλιτέχνη.
- Η επέμβαση συντήρησης του έργου, εκτιμήθηκε μέσω του μη καταστρεπτικού ελέγχου, ως απόλυτα αδόκιμη, πράγμα το οποίο προσθέτει μία επιπλέον μοναδικότητα στο έργο, αφού η συγκεκριμένη επέμβαση συντήρησης έγινε με τη συναίνεση του καλλιτέχνη.

10. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Το έργο μπορεί να διερευνηθεί περαιτέρω με τη λήψη δειγμάτων υλικού προς χαρακτηρισμό των υλικών του και των προϊόντων φθοράς του. Συγκεκριμένα, προτείνεται να ληφθούν δείγματα από τις περιοχές του επιχρίσματος, και μάλιστα από τις περιοχές στις οποίες σημειώθηκαν οι μεγαλύτερες χρωματικές αποκλίσεις, από το τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης, από τη διάβρωση του σιδηροπλισμού, από το τσιμεντοκονίαμα επικάλυψης του σιδηροπλισμού, το οποίο δε φέρει το φωτογραφικό στρώμα, από τα ξεφλουδίσματα, καθώς και από οπουδήποτε αλλού αυτό είναι εφικτό.
- Το έργο μπορεί να συντηρηθεί προληπτικά φυλασσόμενο σε συνθήκες σταθερών και κατάλληλων επιπέδων θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, φωτός και ποιότητας του αέρα.

Όσον αφορά στη φύλαξη φωτογραφικών υλικών, η υψηλότερη συνιστώμενη θερμοκρασία είναι οι 18 °C , ενώ οι τιμές σχετικής υγρασίας συνίσταται να κυμαίνονται μεταξύ 30 – 50%. Τα ανώτατα όρια θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας κατά την έκθεση των φωτογραφικών υλικών μπορούν να υπολογισθούν στους 25 °C και σε 60% σχετική υγρασία [11]. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, και επειδή το ανώτατο όριο σχετικής υγρασίας κατά την έκθεση των φωτογραφικών υλικών είναι αρκετά υψηλό ως προς την επίδρασή του στα κονιάματα, συστήνεται ένας συνδυασμός 15 - 16 °C και 35 - 40% σχετική υγρασία.

Όσον αφορά στο φωτισμό, ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται να δοθεί ως προς την υπερϊώδη ακτινοβολία, στην οποία είναι ευαίσθητο το βερνίκι πολυουρεθάνης. Προτείνεται, λοιπόν, είτε να χρησιμοποιούνται ειδικά φίλτρα στα παράθυρα είτε αυτά να καλύπτονται απόλυτα.

Ο έλεγχος της ποιότητας του αέρα αν και είναι δύσκολος, προτείνεται η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση των ατμοσφαιρικών ρυπαντών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί κυρίως με τη χρήση χημικών φίλτρων, που πάντως διαφέρουν μεταξύ τους σε μέγεθος και αποτελεσματικότητα. Τα φίλτρα αυτά δεσμεύουν τα αιωρούμενα εξωτερικής προέλευσης, ενώ μειώνουν και αυτά που δημιουργούνται μέσα στο χώρο φύλαξης (π.χ. κουτιά , έπιπλα), καθώς ο αέρας ανακυκλώνεται. Σε ό, τι αφορά τους αέριους ρύπους, όμως, τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται δεν έχουν πάντα καλά αποτελέσματα (π.χ. τα φίλτρα άνθρακα συγκρατούν το όζον και κάποιους άλλους αέριους ρυπαντές, αλλά όχι το διοξείδιο του αζώτου, το οποίο αντιμετωπίζεται από φίλτρα με υπερμαγγανικό κάλιο), ενώ χρειάζονται και συχνές αλλαγές [11].

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται να εφίσταται και κατά τη μεταφορά του έργου. Συστήνεται αυτή να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο (προσανατολισμός έργου, αριθμός μεταφορέων), ώστε να μην υπάρχει τμήμα του έργου το οποίο θα υφίσταται μεγαλύτερη καταπόνηση σε σχέση με κάποιο άλλο, οι τάσεις να

επιμερίζονται ομοιόμορφα στο έργο και η θραύση, του σκυροδέματος και του επιχρίσματος, να παραμένει χαμηλής επικινδυνότητας.

IV. ΠΗΓΕΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καραμπίνης Λ., Τσιρώνης Α., << Προβλήματα συντήρησης σε ζωγραφικά έργα με μικτή τεχνική, Νίκος Κεσσανλής, Περίοδος 1957-1989 >>, Πτυχιακή εργασία, Αθήνα 1996, Τμήμα Συντήρησης Έργων Τέχνης και Αρχαιοτήτων, Τ.Ε.Ι ΑΘΗΝΑΣ.
2. Τζιρτζιλιάκης Γ., << Νίκος Κεσσανλής >>, Εκδόσεις Αδάμ, Θεσσαλονίκη 1997.
3. Προσωπική συνέντευξη από τον κ. Παντελή Αραπίνη, Ιδιοκτήτη της Gallery ΑΔ, φίλο και συνεργάτη του Ν. Κεσσανλή.
4. Προσωπική συνέντευξη από τον κ. Αντώνη Ψαρρή, βοηθό του Ν. Κεσσανλή στις τεχνικές εργασίες από την αρχή της εγκατάστασής του στην Ελλάδα μέχρι τέλους.
5. Προσωπική συνέντευξη από την κα. Γιώτα Καραπλή - Χατζητουριάν, φωτογράφο, βοηθό του Ν. Κεσσανλή στις φωτογραφικές εργασίες.
6. http://alpha6.gr/wp/?page_id=299
7. <http://www.metalgiotis.gr/0010000006/%CE%BD%CE%B5%CF%85%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BB.html>
8. http://www.alto.gr/?pname=products_category&la=1&cat_id=1095
9. http://alpha6.gr/wp/?page_id=169
10. http://monosimacn.blogspot.com/2008_07_01_archive.html
11. Αντωνοπούλου, Α.Θ., << Προληπτική συντήρηση και μεθοδολογία έκθεσης φωτογραφικών υλικών >>, Αθήνα 2009.
12. <http://www.cement.org/tech/>
13. Τσίμας Σ., Τσιβιλής Σ., << Επιστήμη και τεχνολογία τσιμέντου >>, ΕΜΠ, Αθήνα 2004.
14. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko1.htm
15. Κορωναίος Α., Πουλάκος Γ., << Τεχνικά υλικά >>, ΕΜΠ, Αθήνα 2006.
16. http://alpha6.gr/wp/?page_id=169
17. Ίδρυμα Ορμύλια, << Ανάλυση των υλικών και εξέταση του φαινομένου αποχρωματισμού σε φωτογραφίες της συλλογής Καλφαγιάν >>, Χαλκιδική 2007.
18. <http://www.nfsa.gov.au/preservation/handbook/film-construction/>
19. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Types_of_Photographic_Papers.png
20. <http://www.mahn.net/TaBM.htm>
21. <http://www.vivechrom.gr/htmlsite/productdetails.asp?id=67>
22. http://www.vitex.gr/external_surfaces_002.php
23. <http://www.calfinder.com/library/concrete/concrete-paint/primer>
24. <http://en.wikipedia.org/wiki/Emulsion>
25. <http://www.cheresources.com/content/articles/other-topics/chemistry-of-photography?pg=1>
26. Vincett P.S., Sahyun M.R.V., << Photographic Processes and Materials >>, in Encyclopedia of Physical Science & Technology (Vol.12), Academic Press, pp. 91 – 132.

27. Kramer D.L., << Gels for Photographic Emulsions >>, in Encyclopedia of Materials: Science and Technology, Elsevier, 2001, pp. 3495 – 3497.
28. Michael P., << 20th Century Materials and Process Essentials >>, in The Focal Encyclopedia of Photography, Focal Press, 4th edition, China 2007.
29. Kozlov P.V., Burdygina G.I., << The structure and properties of solid gelatin and the principles of their modification >>, Polymer Reviews, Vol. 24, Butterworth & Co. (Publishers) Ltd., 1983, pp. 651 – 666.
30. Allen E., Triantaphillidou S., << Image formation and the photographic process >>, in The Manual of Photography, Focal Press, 10th edition, China 2011, pp. 245 – 260.
31. http://en.wikipedia.org/wiki/Silver_bromide
32. <http://www.fotoart.gr/tehniki/emfanisi/emfanistis.htm>
33. <http://www.photo.gr/v2/index.php?option=15&selector=88&id=21>
34. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko3.2.htm
35. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES/xr_2_4t.htm
36. <http://www.rockaloid.com/faq.html#4>
37. <http://www.kodak.com/eknec/documents/4f/0900688a800f614f/PF796ENG.pdf>
38. <http://www.rockaloid.com/products.html#liquid>
39. Κουλουμπή Ν., Μοροπούλου Α., Μπατής Γ., << Φθορά Μετάλλων και Πορωδών υλικών >>, Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ 2005.
40. Τσίμας Σ., Τσιβιλής Σ., << Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου >>, Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ 2010.
41. <http://www.texnikos.gr/blog/?p=103>
42. http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/645/ane_chapter1_2.pdf?sequence=4
43. Καλλιανιώτης Φ., Σταθάς Ν., << Αίτια και μέθοδοι επισκευής ρωγμών στο οπλισμένο σκυρόδεμα >>, 15^ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, ΠΑΤΡΑ 2009.
44. Αθανασιάδη Ι., << Προδιαγραφές και Τεχνολογίες Επιχρισμάτων >>, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ 2011.
45. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES/xr_2_8.htm
46. <http://www.tsioudas.gr/%CE%A4%CE%B1-%CE%BD%CE%AD%CE%B1/%CE%A4%CE%B9-%CE%80%CF%81%CE%AD%CF%80%CE%B5%CE%B9-%CE%BD%CE%B1-%CE%B3%CE%BD%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B6%CE%B5%CF%84%CE%B5-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CE%BD%CF>

- %89%CF%83%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-
 %CF%84%CE%B7%CE%BD-
 %CF%85%CE%B3%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CE%BD%CF%89%CF
 %83%CE%B7
47. Μοροπούλου Α., << Χαρακτηρισμός, Έλεγχος Ποιότητας, Διάγνωση Φθοράς και Συντήρηση Δομικών Υλικών. Μεθοδολογία Ενόργανων & Μη Καταστρεπτικών Τεχνικών. >>, Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ 2007.
48. Αβδελίδης Π. Ν., << Εφαρμογές της Υπέρυθρης Θερμογραφίας για τον Έλεγχο Δομικών Υλικών σε Κατασκευές >>, Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ, 2002.
49. Hung Y. Y., Chen Y. S., Ng S. P., Liu L., Huang Y. H., Luk B. L., Ip R. W. L., Wu C. M. L., Chung P. S., << Review and Comparison of Shearography and Active Thermography for Nondestructive Evaluation >>, Materials Science & Engineering, Vol. 64, Is. 5 – 6, Elsevier, China 2009, pp. 73 – 112.
50.
<http://www.infratec.de/en/thermography/application-area/activethermography.html>
51. Καμπασάκαλη Ε., << Φυσικοχημικός Χαρακτηρισμός Χρωστικών σε Έργα Τέχνης επί Χάρτου της Σύγχρονης Ζωγραφικής >>, Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2007.
52.
<http://www.cold.org.gr/library/Downloads/docs/%CE%9C%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%A4%CE%97%20%CE%A4%CE%9F%CE%A5%20%CE%A7%CE%A1%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%9F%CE%A3%20%CE%91%CE%93%CE%A1%CE%9F%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D%20%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%99%CE%9F%CE%9D%CE%A4%CE%A9%CE%9D.pdf>
53. Σχίζας Ν., << Η Τέχνη της Αναλογικής και της Ψηφιακής Φωτογραφίας >>, Εκδόσεις Είδωλο, Θεσσαλονίκη 2010 .
54.
http://www.nikonians.org/html/resources/non-nikon_articles/tokina/Tokina_AT-X_M100AF/Tokina_AT-X_M100AF_2.html
55. <http://www.nikonusa.com/Learn-And-Explore/Nikon-Camera-Technology/gnhy8b3m/1/Macro-Lenses.html>
56. <http://www.slrphotographyguide.com/camera/lens/macro.shtml>
57. http://en.wikipedia.org/wiki/Nature_photography
58. Τ. Ο. Τ. Ε. Ε., << Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών >>, Αθήνα 2010.
59. Ελληνόπουλος Χ., << Εφαρμογές θερμογραφίας στην ενεργειακή απόδοση των κτηρίων >>, Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού, Κύπρος, 2010.
60.
http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CF%89%CF%84%CE%BF%CF%82_%CF%87%CE%AC%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B1%CF%82

61. Κουτσώνας Α., <<Μέθοδοι επεξεργασίας εικόνας στο χρωματικό μοντέλο CIELAB για την ταξινόμηση πλακιδίων κατά χρωματικό τόνο>>, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2004.