



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρωστικές Όψεις Ελληνικών Φορητών Εικόνων



ΦΩΣΤΙΝΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΑΜ: 52016048

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΜΑΣΤΡΟΘΕΟΔΩΡΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Οκτώβριος 2022, Αθήνα

Χρωστικές Όψιμων Ελληνικών Φορητών Εικόνων

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΙΔΙΟΤΗΤΑ / ΒΑΘΜΙΔΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Μαστροθεόδωρος Γεώργιος	Επιβλέπων	
2	Αλεξοπούλου Αθηνά Γεωργία	Μέλος Εξ. Επιτροπής / Καθηγήτρια ΠΑΔΑ	
3	Μπογιατζής Σταμάτιος	Μέλος Εξ. Επιτροπής / Καθηγητής ΠΑΔΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Φωστίνη Βασιλική του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 52016048 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, στο Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και έργων τέχνης. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου, κο Γεώργιο Μαστροθεόδωρο. Χωρίς τη συμβολή του, η ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής θα ήταν αδύνατη, καθώς πέρα από τη διαρκή υποστήριξη και βοήθεια που μου προσέφερε, ήταν ο ίδιος που εντόπισε και έφερε στο εργαστήριο τα έργα προς εξέταση. Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω επίσης στην κα Καμινάρη Αγάθη (Λέκτορα στο ΠΑΔΑ), υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση της οποίας διενεργήθηκαν οι απεικονιστικές μέθοδοι που θα παρουσιαστούν στην παρούσα πτυχιακή (υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού, πολυφασματική απεικόνιση). Η κα Καμινάρη υπήρξε ιδιαίτερα επεξηγηματική, και διέθεσε πολλές ώρες από τον χρόνο της προκειμένου να ληφθούν οι απεικονίσεις όσο το δυνατόν ορθότερα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την α Αλεξοπούλου Αθηνά (Καθηγήτρια στο ΠΑΔΑ) και την κα Χατζηδάκη Μαρία (Λέκτορα Εφαρμογών στο ΠΑΔΑ), που επανειλημμένως μου διέθεσαν τον εξοπλισμό και τον χώρο των εργαστηρίων τους, προκειμένου να ολοκληρώσω το πειραματικό μέρος που θα παρουσιαστεί.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την εξέταση τριών όψιμων (19ου αιώνα) ελληνικών φορητών εικόνων. Στα εν λόγω έργα, και συγκεκριμένα στη ζωγραφική επιφάνεια αυτών, εφαρμόστηκαν ορισμένες φυσικοχημικές μέθοδοι διάγνωσης. Αυτές περιλάμβαναν υπεριώδη φωτογραφία φθορισμού, φθορισμομετρία ακτίνων Χ, έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση και ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης σε φασματικές ζώνες της υπεριώδους, της ορατής και της υπέρυθρης περιοχής. Οι προαναφερθείσες εξετάσεις διεξάχθηκαν με σκοπό να διαπιστωθεί το κατά πόσο έχουν ενταχθεί στην παλέτα των λαϊκών αγιογράφων οι νέες συνθετικές χρωστικές που έκαναν την εμφάνισή τους στην Ευρώπη τον 19ο αιώνα, ή κατά πόσο η επιλογή υλικών (: χρωστικών) χαρακτηρίζεται από την ίδια συντηρητικότητα που εντοπίζουμε σε τεχνοτροπικό επίπεδο. Λόγω των δυνατοτήτων των μεθόδων που επιλέχθηκαν, μεγαλύτερη βάση έχει δοθεί στη διερεύνηση των ανόργανων χρωστικών. Επίσης, σε αυτό το πλαίσιο εξετάστηκαν ορισμένα ζητήματα που ενδεχομένως να προκύπτουν από την παρουσία των εν λόγω χρωστικών, αναφορικά κυρίως με την κατάσταση διατήρησης των έργων. Από την ανάλυση των πορισμάτων προέκυψε πως η χρήση νέων συνθετικών χρωστικών στα έργα προς εξέταση ήταν περιορισμένη, επομένως εντοπίζεται πράγματι μια τάση προτίμησης των παραδοσιακών υλικών. Οι νέες συνθετικές ανόργανες χρωστικές που εντοπίστηκαν σε μεγαλύτερη έκταση περιλαμβάνουν το λευκό του ψευδαργύρου και το κίτρινο του χρωμίου.

Λέξεις κλειδιά:

Φορητές εικόνες, Μεταβυζαντινή ζωγραφική, Αγιογραφία, 19ος αιώνας, Ελλαδικός χώρος, Ανόργανες χρωστικές, Συνθετικές χρωστικές, Ανάλυση χρωστικών, Μη Καταστροφικές Φυσικοχημικές Μέθοδοι Διάγνωσης, Φθορισμομετρία Ακτίνων Χ, Πολυφασματική Απεικόνιση, Έγχρωμη Υπέρυθρη Απεικόνιση, Λανθασμένα χρώματα, Απεικονίσεις Ανάκλασης

ABSTRACT

The present thesis focuses on the study of three 19th century Greek icons. A number of non-destructive physicochemical analytical methods were performed on said icons' paint surface. The methods implemented included ultraviolet induced visible fluorescence (UVIVF), X-Ray fluorescence (XRF), false color infrared photography (FCIR) and multispectral reflectance imaging at specific spectral bands. These investigations aimed at determining whether 19th century Greek folk painters were willing to adopt the new synthetic pigments which emerged during the same period in Europe, or if they were hesitant to, in consistency with the obvious conservatism and adherence to tradition, as far as the iconography is concerned. Due to the fact that the range of capacity of X-Ray fluorescence is largely inadequate for detecting organic materials, the present thesis concentrates mainly on the characterization of the inorganic pigments present on the three icons. The results suggest that the use of new inorganic synthetic pigments on the icons in question is rather limited, which seems to denote a preference to traditional materials. Among the few new synthetic pigments that were detected, the most used ones were zinc white and chrome yellow. Concerning these newly synthesized pigments, a brief investigation regarding how they might be able to affect the preservation state of the paintings was also carried out.

Keywords:

Icons, Post-Byzantine iconography, 19th century, Inorganic Pigments, Synthetic Pigments, Pigment Analysis, Non-Destructive Physicochemical Analytical Methods, X-Ray Fluorescence (XRF), Portable XRF Spectrometer, Multispectral Imaging, False Color Infrared Photography (FCIR), Reflectance Multispectral Imaging

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Χρωστικές Όψιμων Ελληνικών Φορητών Εικόνων	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Σκοπός και στόχοι της εργασίας	9
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	11
1.3 Τεχνικές ζωγραφικής φορητών εικόνων	14
Η τεχνική της αυγοτέμπερας.....	14
Η τεχνική της ζωγραφικής με λάδι.....	16
1.4 Οι χρωστικές από την προϊστορία ως τον 19ο αι.....	17
Χρήσιμη ορολογία.....	18
Προϊστορικοί χρόνοι	20
Αρχαίοι χρόνοι	21
Μεσαίονας.....	23
Αναγέννηση	26
18ος-19ος αιώνας	28
Συνήθεις χρωστικές στη Μεταβυζαντινή τέχνη.....	31
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ.....	34
2.1 Υπεριώδης Φωτογραφία Φθορισμού / Ultraviolet Induced Visible Fluorescence (UVIVF)	34
2.2 Φθορισμομετρία Ακτίνων X / X-Ray Fluorescence (XRF)	36
2.3 Πολυφασματική Απεικόνιση / Multispectral Imaging (MSI)	39

-Ασπρόμαυρη απεικόνιση ανάκλασης σε ορατό & υπέρυθρο απεικόνιση στο ορατό -Έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση	-Έγχρωμη 39
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	45
3.1 Τα αντικείμενα προς εξέταση	45
Εικονογραφικά στοιχεία	45
Αντικείμενο Α.....	47
Αντικείμενο Β.....	49
Αντικείμενο Γ.....	51
3.2 Μέθοδοι και Υλικά.....	54
3.3 Αποτελέσματα.....	58
Αντικείμενο Α.....	59
Αντικείμενο Β.....	82
Αντικείμενο Γ.....	99
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	115
Ινδικό & Πρωσικό κυανό.....	117
3.4 Συμπεράσματα.....	119
4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	120
4.1 Λίγα λόγια για τη γενικότερη συμπεριφορά των χρωστικών	120
4.2 Ως προς την εμπλοκή των σύγχρονων συνθετικών χρωστικών που εντοπίστηκαν στα έργα προς εξέταση.....	122
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	125
5.1 Προτεινόμενα ζητήματα προς μελλοντική διερεύνηση.....	128
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	130
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	141
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	157

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Ο κύριος σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η εφαρμογή ορισμένων φυσικοχημικών μεθόδων διάγνωσης στη ζωγραφική επιφάνεια τριών λαϊκότροπων φορητών εικόνων κατασκευασμένων κατά τον 19^ο αιώνα, προκειμένου να διαπιστωθεί τι είδους χρωστικές έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή κάθε έργου. Πρόκειται για ένα σύνολο μη καταστρεπτικών –τουλάχιστον με τον τρόπο που διενεργήθηκαν στην προκειμένη περίπτωση– μεθόδων, οι οποίες αξιοποιούν ακτινοβολίες από διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ακτίνες X, υπεριώδη, ορατή και υπέρυθη ακτινοβολία) και τον τρόπο που αυτές αλληλεπιδρούν με την ύλη, προκειμένου να δώσουν πληροφορίες για τα υπό εξέταση υλικά.

Συγκεκριμένα, στις μεθόδους που αξιοποιήθηκαν περιλαμβάνονται η υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού, η φθορισμομετρία ακτίνων X και η πολυφασματική απεικόνιση, στα πλαίσια της οποίας λήφθηκαν ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης σε έξι φασματικές ζώνες, έγχρωμες απεικονίσεις στο ορατό και έγχρωμες υπέρυθρες απεικονίσεις. Η υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού και οι απεικονίσεις που λήφθηκαν με την πολυφασματική κάμερα είναι απεικονιστικές τεχνικές, το οποίο σημαίνει πως μας κάνουν σαφείς ορισμένες ιδιότητες των υλικών με βάση την αλληλεπίδρασή τους με την ακτινοβολία (φθορισμό, ανάκλαση, απορρόφηση, διαπερατότητα), αλλά δεν παρέχουν δυνατότητα αδιαμφισβήτητης ταυτοποίησης των επί μέρους στοιχείων των υπό εξέταση περιοχών. Η φθορισμομετρία ακτίνων X παρέχει τη δυνατότητα προσδιορισμού της στοιχειακής σύστασης των υπό εξέταση υλικών/φάσεων και κατ' επέκταση βοηθά σημαντικά στην αξιολόγηση των δεδομένων που προκύπτουν από τις απεικονιστικές τεχνικές. Ωστόσο, λόγω ορισμένων τεχνικών περιορισμών, με την φθορισμομετρία ακτίνων X δεν ανιχνεύονται στοιχεία με μικρό ατομικό αριθμό (H, C, N, O κλπ), και ως εκ τούτου δεν επιτρέπει τον χαρακτηρισμό οργανικών ενώσεων. Όπως είναι λοιπόν κατανοητό, οι χρωστικές που κατέστη δυνατόν να εντοπιστούν με κάποια ασφάλεια στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ήταν κατά βάση οι ανόργανες, επομένως η μελέτη θα εστιάσει κυρίως σε αυτές.

Ο απώτερος στόχος για τον οποίο πραγματοποιήθηκε η παραπάνω διαδικασία αναζήτησης χρωστικών ήταν να διαπιστωθεί το κατά πόσο οι αγιογράφοι του 19ου αιώνα ήταν διατεθειμένοι να δοκιμάσουν και να εντάξουν στα έργα τους τις νέες χρωστικές ύλες που συντέθηκαν και γνώρισαν ευρεία διάδοση την ίδια εποχή στην Ευρώπη. Η ανακάλυψη του χρωμίου και η γενικότερη ανάπτυξη της σύγχρονης χημείας από τα τέλη του 18ου αιώνα και εξής είχε ως αποτέλεσμα τη σύνθεση και διάθεση στην αγορά όλο και μεγαλύτερης γκάμας χρωστικών, οργανικών και ανόργανων. Από την άλλη πλευρά, η ζωγραφική των φορητών εικόνων ήταν μια αρκετά συντηρητική τέχνη, που παρέμεινε πιστή στον μεταβυζαντινό τρόπο μορφολογικής απεικόνισης αλλά και κατασκευαστικής τεχνικής. Επομένως, έχει ενδιαφέρον να διερευνηθεί το σημείο συνάντησης αυτών των δύο “παράλληλων κόσμων”, αν υπάρχει.

Οι τρεις φορητές εικόνες που επιλέχθηκαν τοποθετούνται χρονολογικά στον 19^ο αιώνα, πιθανώς στο β' μισό του (Εικόνα 1). Επίσης, και οι τρεις εικονίζουν τον Άγιο Γεώργιο στον τύπο του δρακοκτόνου. Εσκεμμένα επιδιώχθηκε να έχουν και τα τρία έργα την ίδια θεματολογία, ώστε, στα πλαίσια των γενικότερων στόχων της μελέτης, να εξετασθεί και συγκριτικά η επιλογή των χρωστικών για την απόδοση των ίδιων μορφών και λοιπών εικονογραφικών στοιχείων.

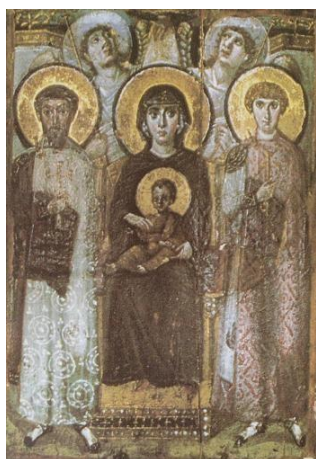


Εικόνα 1: Οι τρεις φορητές εικόνες με τις οποίες θα ασχοληθεί η παρούσα πτυχιακή.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Λίγα λόγια για την τέχνη των φορητών θρησκευτικών εικόνων

Όταν κάνουμε λόγο για *φορητές εικόνες*, αναφερόμαστε σε έργα θρησκευτικού χαρακτήρα και λατρευτικού σκοπού, ζωγραφισμένα με τον βυζαντινό τρόπο. Ως επί το πλείστον πρόκειται για έργα με υποστήριγμα το ξύλο. Τα πρωιμότερα δείγματα φορητών εικόνων που σώζονται μέχρι σήμερα χρονολογούνται στα τέλη της πρωτοβυζαντινής περιόδου (6ος αι Κ.Ε.¹), και είναι κατασκευασμένα με την τεχνική της εγκουστικής (Βοκοτόπουλος 2008). Από το 726 Κ.Ε. ως το 843 Κ.Ε. γνωρίζουμε πως έλαβε χώρα στο Βυζάντιο η εικονομαχική διαμάχη, και μέσα σε αυτή την περίοδο περιορίστηκε δραματικά (έως διεκόπη) η παραγωγή φορητών εικόνων. Η διαμάχη έληξε με την απόρριψη των εικονομαχικών θέσεων και την επικράτηση της χρήσης εικόνων για λατρευτικούς σκοπούς. Από τη λήξη της εικονομαχίας έως σήμερα η παραγωγή εικόνων έχει



συνεχιστεί αδιάλειπτα, με αποκορύφωμα τους τελευταίους αιώνες πριν την άλωση της Κωνσταντινούπολης (13ος-15ος αι), οπότε η ζωγραφική φορητών εικόνων πέρασε μια περίοδο ακμής με τη λεγόμενη Μακεδονική Σχολή (Honour and Fleming 1998, Κουτσουρής 2007, Βοκοτόπουλος 2008).

Εικόνα 2: Πρώιμη φορητή εικόνα σε ξύλινο φορέα του 6ου αι Κ.Ε.
(Μοναστήρι Αγίας Αικατερίνης, Όρος Σινά)
Πηγή: Fleming 1998

Η τέχνη της ζωγραφικής φορητών εικόνων συνεχίστηκε και μετά την άλωση της Κωνσταντινούπολης το 1453, κατά τη μεταβυζαντινή δηλαδή περίοδο, κυρίως στις μεγάλες μονές του ελλαδικού χώρου και στις Βενετοκρατούμενες περιοχές. Αναφορικά με τις τελευταίες, σημαντικότατο κέντρο μεταβυζαντινής τέχνης αποτέλεσε η Κρήτη, τουλάχιστον μέχρι την ολοκλήρωση της κατάληψής της από τους οθωμανούς Τούρκους το έτος 1669. Καίριο ρόλο σε αυτό διαδραμάτισε το γεγονός πως, μετά την άλωση της Κωνσταντινούπολης, κατέφυγε στη Μεγαλόνησο σημαντικός αριθμός καλλιτεχνών. Έτσι προέκυψε σταδιακά ένας συγκερασμός της

¹ Οι όροι *Κοινή Εποχή* (Κ.Ε.), *Κοινή Χρονολογία* (Κ.Χ.) και *Κοινή Περίοδος* (Κ.Π.) αφορούν την περίοδο που ξεκινάει από το έτος 1 και εξής, σύστημα υπολογισμού των ετών ισοδύναμο της *μετά Χριστόν* (μ.Χ.) χρονικής περιόδου.

τοπικής λαϊκής ζωγραφικής με τις παλαιολόγιες παραδόσεις, αλλά και με δυτικότροπα στοιχεία, και μέσα από αυτόν αναδείχθηκε η περίφημη Κρητική Σχολή. Η κρητική ζωγραφική των μεταβυζαντινών χρόνων, με καλλιτεχνικό κέντρο τον Χάνδακα (σημερινό Ηράκλειο), εκφράστηκε κυρίως στην παραγωγή φορητών εικόνων, τόσο για ιδιωτική λατρεία όσο και για δημόσια, οι οποίες διακινούνταν στη Μεσόγειο αλλά και ως τη βόρεια Ευρώπη. Μάλιστα οι δεξιότητες που είχαν αναπτύξει οι Κρητικοί αγιογράφοι τους επέτρεπαν να προσαρμόζουν τη ζωγραφική τους ανάλογα με τις προτιμήσεις του παραγγελιοδότη, είτε κατά τη βυζαντινή παράδοση, είτε σε ιταλίζουσα τεχνοτροπία (Κωνσταντουδάκη-Κιτρομηλίδου 2010, Μαστροθεόδωρος 2016). Όπως προαναφέρθηκε, το 1669 ολοκληρώθηκε η άλωση της Κρήτης από τους Οθωμανούς. Άμεσο επακόλουθο ήταν η προσφυγή κατοίκων του νησιού στη Βενετία, τα νησιά του Αιγαίου και κυρίως του Ιονίου (που παρέμειναν βενετοκρατούμενα). Οι πρόσφυγες, ανάμεσα στους οποίους και πολλοί καλλιτέχνες, έφεραν μαζί τους πολλά φορητά ζωγραφικά έργα, με αποτέλεσμα η Κρητική Σχολή να βρει μια κάποια συνέχεια στο Ιόνιο, τουλάχιστον ως το τέλος του 17ου αιώνα (Sotiropoulou and Daniilia 2010, Κουτσουρή 2007, Μαστροθεόδωρος 2016).

Ως προς τον ηπειρωτικό χώρο, κατά τον 15^ο και 16^ο αι. διαπιστώνεται η παραγωγή φορητών εικόνων σε μονές –κατά κύριο λόγο στο Άγιο Όρος– αλλά και σε διάφορες πόλεις όπως τα Ιωάννινα, η Καστοριά, η Βέροια κ.α. όπου μάλιστα αναπτύχθηκε και ένα τοπικό ζωγραφικό ιδίωμα που συχνά αποκαλείται «Σχολή της βορειοδυτικής Ελλάδας» (Αχειμάστου-Ποταμιάνου 1994). Ο χαρακτήρας των εν λόγω έργων διαφοροποιείται από αυτόν της Κρητικής Σχολής, καθώς τείνει σε πρότυπα συντηρητικά και αυστηρά. Να σημειωθεί πάντως πως έχουμε περιπτώσεις καλλιτεχνών που ταξιδεύουν από την Κρήτη στην Κωνσταντινούπολη, επομένως η μεταφορά καλλιτεχνικών παραδόσεων που αναφέρθηκε παραπάνω φαίνεται πως ήταν σε κάποιο τουλάχιστον βαθμό και αμφίδρομη (Κωνσταντουδάκη-Κιτρομηλίδου 2010, Μαστροθεόδωρος 2016).

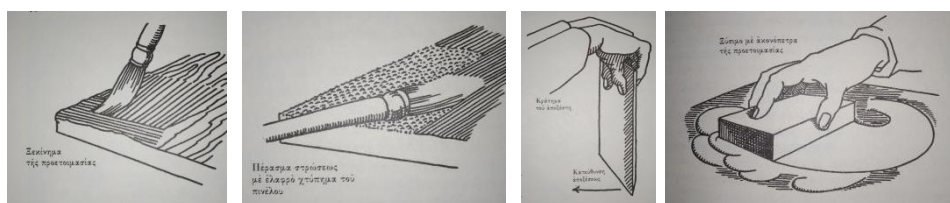
Κατά τον 18^ο αι. διαπιστώνεται μια αύξηση στην παραγωγή φορητών εικόνων, τόσο στον ηπειρωτικό χώρο όσο και στα νησιά. Ωστόσο, βλέπουμε πως οι διαφοροποιήσεις τεχνοτροπίας και ύφους κάνουν όλο και πιο εμφανή την παρουσία τους. Στον ηπειρωτικό χώρο διατηρείται και αναπτύσσεται περαιτέρω η ζωγραφική της «σχολής της βορειοδυτικής Ελλάδας». Επίσης στο Αιγαίο και τον λοιπό ελλαδικό χώρο ακολουθείται εν πολλοίς ο βυζαντινός τρόπος. Αντιθέτως, στα νησιά του Ιονίου έχει αναδειχθεί μία ιδιαίτερη σχολή, η Επτανησιακή, η οποία αποτέλεσε το πρώτο ελληνικό καλλιτεχνικό ρεύμα με σαφείς δυτικοευρωπαϊκές επιρροές. Εν προκειμένω διαπιστώνεται μία αυξανόμενη εισχώρηση και υιοθέτηση δυτικών στοιχείων, πλέον όχι μόνο στην επιλογή των θεμάτων και την απόδοση της ζωγραφικής, αλλά και στον τρόπο και τα υλικά κατασκευής των εικόνων. Πράγματι, ήδη από τις αρχές του 18^{ου} αι. είχε αρχίσει να εισάγεται στο Ιόνιο η τεχνική της ελαιογραφίας, η οποία εφαρμόστηκε είτε αμιγώς είτε συνδυαστικά με τον

τρόπο της αυγοτέμπερας (ταυτόχρονη χρήση ως συνδετικού υλικού αυγού και ξηραϊνόμενων ελαίων). Σταδιακά κατά τη διάρκεια του 18^{ου} αιώνα, η ελαιογραφία επικράτησε στα Επτάνησα εις βάρος της παραδοσιακής τεχνικής με αυγοτέμπερα, και τα ξύλινα υποστηρίγματα έδωσαν τη θέση τους σε υφασμάτινα (Παπανικολάου 2005, Κουτσουρής 2007, Μαστροθεόδωρος 2016).

1.3 Τεχνικές ζωγραφικής φορητών εικόνων

Η τεχνική της αυγοτέμπερας

Όπως προαναφέρθηκε, στις πλείστες των περιπτώσεων οι φορητές εικόνες κατασκευάζονταν επάνω σε ξύλινο υποστήριγμα². Πολλές φορές –ιδιαίτερα από τον 16^ο αι. και έκτοτε– επικολλούνταν επάνω στο ξύλο και κάποιο ύφασμα, με σκοπό την καλύτερη πρόσφυση των υπερκείμενων στρωμάτων και την προστασία της ζωγραφικής επιφάνειας από τις διαστασιακές μεταβολές και πιθανές φθορές του ξύλου. Επάνω από το ξύλο –ή το ύφασμα– εφαρμοζόταν σε πολλές στρώσεις η λεγόμενη προετοιμασία, με σκοπό να επιτευχθεί μία λεία, ομοιογενής και με ικανοποιητική απορροφητικότητα επιφάνεια, κατάλληλη να δεχθεί το ζωγραφικό στρώμα. Επρόκειτο συνήθως για μείγμα κιμωλίας, γύψου³ ή άλλων αδρανών, ενίοτε και χρωστικών, με κάποια συγκολλητική ουσία, συνήθως ζωική. Όταν στέγνωνε, η προετοιμασία λειανόταν μέσω τριβής ή απόξεσης. Στη συνέχεια επάνω στην προετοιμασία αποτυπωνόταν το σχέδιο συνήθως με τη χρήση ανθιδόλων (δηλαδή χάρτινων προσχεδίων) και



Εικόνα 3: Παράδειγμα των διαδοχικών σταδίων εφαρμογής της προετοιμασίας. Πηγή: Thompson 1997

κάρβουνου, και ακολουθούσε η ζωγραφική με αυγοτέμπερα. Ο τελευταίος όρος τυπικά περιγράφει τη διασπορά χρωστικών κονιών (βλ. “Χρήσιμη ορολογία”) σε συνδετικό υλικό από κρόκο αυγού, νερό και ξύδι. Περιοχές της σύνθεσης όπως το φόντο (κάμπος) και κυρίως τα φωτοστέφανα καλύπτονταν συνήθως με μεταλλικά φύλλα, πρωτίστως χρυσού, και δευτερευόντως αργύρου ή κασσιτέρου. Το τελικό στάδιο ήταν η εφαρμογή στη ζωγραφική επιφάνεια κάποιου

² Η αξιοποίηση τεμαχίων ξύλου ως υποστηρίγματα για τη βυζαντινή ζωγραφική δεν αποτέλεσε νέο στοιχείο. Ήδη από τους ρωμαϊκούς χρόνους ήταν πολύ σύνηθες να ζωγραφίζονται πορτραίτα επάνω σε ξύλινους φορείς. Μάλιστα επρόκειτο ως επί το πλείστον για πορτραίτα επιφανών ατόμων, όπως αυτοκρατόρων ή στρατιωτικών ηγετών, και για νεκρικά πορτραίτα, τα λεγόμενα φαγιόμ.

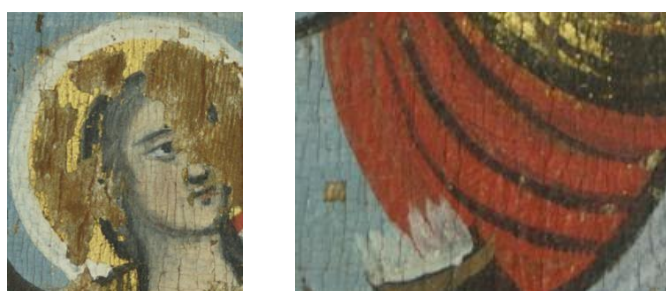
³ Η κιμωλία μαζί με ζωική κόλλα χρησιμοποιήθηκε εκτενώς ως υλικό προετοιμασίας ξύλινου υποστηρίγματος κυρίως στη βόρεια Ευρώπη. Αντίστοιχα στις χώρες της Μεσογείου, ιδιαίτερα Ιταλία και Ισπανία, βλέπουμε μια προτίμηση στη χρήση γύψου (Roy 2012).

επικαλυπτικού υλικού, για λόγους προστασίας και αισθητικούς (Κουτσοϋρής 2007, Μαστροθεόδωρος 2016).



Εικόνα 4: Αριστερά: Παράδειγμα ξύλινου φορέα (Αντικείμενο Α προς εξέταση).
Δεξιά: Παράδειγμα προετοιμασίας εμφανούς λόγω απώλειας (Αντικείμενο Β προς εξέταση).

Η ζωγραφική με αυγοτέμπερα αποτέλεσε τον παραδοσιακό τρόπο κατασκευής βυζαντινών εικόνων, εφαρμοζόταν κατ' αποκλειστικότητα μέχρι τον 17^ο-18^ο αι. και χρησιμοποιείται εκτενώς μέχρι και σήμερα. Ο κρόκος του αυγού μπορεί να εφαρμόζεται ως συνδετικό αναμεμιγμένος – όπως προαναφέρθηκε– με νερό, αλλά επίσης με λάδι ή ακόμη και με κεριά μέλισσας (Τσίλαγα 2011). Σε διάφορες περιπτώσεις αναφέρεται πως οι καλλιτέχνες προσέθεταν στο μείγμα λίγο κρασί ή ξύδι, το οποίο ενδεχομένως συνέβαλε στην καλύτερη συντήρηση των χρωστικών και μείωνε την επιφανειακή τάση του συνδετικού, καθιστώντας πιο εύκολη τη διασπορά σε αυτό κάποιων χρωστικών δύσκολων στη διαβροχή (λ.χ. ώχρα, μαύρο, κυανό της Πρωσίας). Ως υλικό, η αυγοτέμπερα επιτρέπει την εναπόθεση αρκετής ποσότητας υλικού, χωρίς το φόβο του κρακελαρίσματος που υπάρχει στην τεχνική του λαδιού. Επίσης στεγνώνει αρκετά γρήγορα, επιτρέποντας την εναπόθεση αλληλοδιάδοχων χρωματικών στρωμάτων, χωρίς αυτά να αναμειγνύονται μεταξύ τους. Αυτή η ιδιότητα της αυγοτέμπερας αποτελεί καθοριστικό στοιχείο για τον τρόπο της βυζαντινής ζωγραφικής, καθώς επιτρέπει την απόδοση του φωτός και του όγκου μέσω της εναπόθεσης όλο και πιο ανοιχτόχρωμων αποχρώσεων (σαρκώματα, λάμματα, ψιμυθιές) επάνω στα πιο σκούρα υποκείμενα χρωματικά στρώματα (προπλασμός, γραψίματα) (Αλεξοπουλου-Αγορανου *et al* 1997, Κουτσοϋρής 2007, Sotiropoulou and Daniilia 2010, Τσίλαγα 2011).



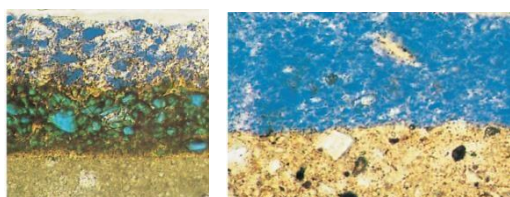
Εικόνα 5: Παραδείγματα ζωγραφικής τεχνικής από το Αντικείμενο προς εξέταση Α. Αριστερά φαίνεται ο σκούρος προπλασμός και τα ανοιχτά σαρκώματα του προσώπου. Δεξιά φαίνονται τα σκούρα γραψίματα που αποδίδουν τις πτυχώσεις επάνω στο κόκκινο χρωματικό στρώμα.

Η τεχνική της ζωγραφικής με λάδι

Η ζωγραφική με αυγοτέμπερα υπήρξε η πιο δημοφιλής τεχνική ζωγραφικής όχι μόνο στο Βυζάντιο, αλλά και στη μεσαιωνική Ευρώπη. Ωστόσο στον ευρωπαϊκό χώρο διαπιστώνεται ήδη από τον 15ο αι. η υιοθέτηση ξηραϊνόμενων ελαίων και φυσικών ρητινών ως συνδετικών μέσων των χρωστικών κονιών, μία τάση που επικράτησε μέσα στους επόμενους δύο αιώνες. Μαζί με την τεχνική της ελαιογραφίας καθιερώθηκε και η χρήση υφασμάτων υποστηρίγματα, τα οποία συντοίς άλλους ήταν πιο εύρηστα, οικονομικά και ανθεκτικά σε συνθήκες υγρασίας από τα αντίστοιχα ξύλινα. Στον ελλαδικό χώρο, η μετάβαση από την αυγοτέμπερα και τα ξύλινα υποστηρίγματα στην τεχνική της ελαιογραφίας σε ύφασμα συντελέστηκε τον 18ο αι. στα Επτάνησα, ενώ στην ηπειρωτική Ελλάδα δεν εντοπίζεται μέχρι τον 19ο αι (Κουτσοϋρή 2007, Τσίλαγα 2011, Ball 2012, Μαστροθεόδωρος 2016).

Η δομή των ελαιογραφιών δεν διαφέρει ριζικά από αυτή των εικόνων σε ξύλο, υπό την έννοια πως και πάλι υπάρχει ένα υποστήριγμα –ύφασμα– επάνω στο οποίο εφαρμόζεται το υπόστρωμα –προετοιμασία–, ακολουθεί η εναπόθεση του ζωγραφικού στρώματος και η επίχριση με βερνίκι. Οι προετοιμασίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κατά κανόνα λιγότερο απορροφητικές, λεπτότερες, πιο λιπαρές (αντικατάσταση ζωικών κολλών με ξηραϊνόμενα έλαια) και ελαστικές, ώστε να ακολουθούν τις κινήσεις του υφάσματος. Έπειτα, οι χρωστικές κονίες εφαρμόζονταν με συνδετικά υλικά είτε τα ξηραϊνόμενα έλαια είτε φυσικές ρητίνες. Το τελικό στάδιο ήταν και εδώ η επίχριση με επικαλυπτικό υλικό, για λόγους προστασίας και αισθητικούς (Κουτσοϋρή 2007).

Ως προς το πλάσιμο των μορφών, τα στάδια που ακολουθούνταν δε διέφεραν ιδιαίτερα από τον βυζαντινό τρόπο. Το υπόστρωμα της προετοιμασίας διαδεχόταν ένα στρώμα ενδιάμεσων τόνων, έπειτα ακολουθούσαν οι σκούροι και τέλος οι ανοιχτοί τόνοι. Στα τελευταία στρώματα χρησιμοποιούνταν και η τεχνική της λαζούρας, πολύ αραιά ημιδιαφανή χρωματικά στρώματα, μέσα από τα οποία διαφαινόταν το υποκείμενο στρώμα, αποκτώντας μια ιδιαίτερη καθαρότητα και λάμψη. Για το σκοπό αυτό συχνά χρησιμοποιούνταν λάκες (βλ. “Χρήσιμη ορολογία”). Γενικά τα ελαιοχρώματα στερεοποιούνται πολύ πιο αργά από την αυγοτέμπερα, στοιχείο που επέτρεπε στους καλλιτέχνες να αποδώσουν πλαστικότητα στις μορφές, να επιτύχουν απαλές τονικές διαβαθμίσεις και να δημιουργήσουν πιο φυσιοκρατικές φωτοσκιάσεις. Να σημειωθεί πως, παρά την υιοθέτηση δυτικών στοιχείων, οι Επτανήσιοι καλλιτέχνες διατηρούν κάποια θεμελιώδη στοιχεία της βυζαντινής παράδοσης, όπως είναι ο υπερβατικός χαρακτήρας της ορθόδοξης



αυγογραφίας (Τσίλαγα 2011).

Εικόνα 6: Δύο περιπτώσεις της κυανής χρωστικής μπλε ουλτραμαρίν εφαρμοσμένης ως λαζούρα. Πηγή: Roy 2012.

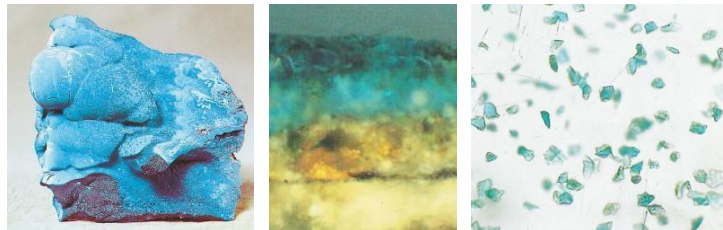
1.4 Οι χρωστικές από την προϊστορία ως τον 19^ο αιώνα

Στην παρούσα ενότητα παρατίθεται μία συνοπτική αναδρομή στο σύνολο των χρωστικών και βαφών, των οποίων η χρήση έχει εντοπιστεί από τους προϊστορικούς χρόνους μέχρι και το τέλος του 19^{ου} αι. Η διερεύνηση του συγκεκριμένου θέματος στοχεύει να αποσαφηνίσει ποιες και τι είδους χρωματικές ύλες βρίσκονταν ήδη διαθέσιμες στις αρχές του 19^{ου} αι., αλλά και ποιες νέες συντέθηκαν στην Ευρώπη μέχρι το πέρας του ίδιου αιώνα. Το παρόν κεφάλαιο εκτιμήθηκε πως θα αποδειχθεί βοηθητικό κατά τη διεκπεραίωση του πειραματικού μέρους, στο οποίο επιζητείται να εντοπιστεί η υιοθέτηση (ή μη) των νέων αυτών συνθετικών χρωστικών από τους Έλληνες αγιογράφους. Σημειώνεται επίσης, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, πως η προσέγγιση της εξελικτικής πορείας των χρωστικών έχει ενταχθεί στα όρια των ενδιαφερόντων του συγκεκριμένου πονήματος, θα μελετηθεί δηλαδή κυρίως όσον αφορά την εφαρμογή τους σε έργα ζωγραφικής, στα περιορισμένα γεωγραφικά πλαίσια της λεκάνης της Μεσογείου και του ευρωπαϊκού χώρου.

Οι προς εξέταση χρωματικές ύλες παρατίθενται σε σειρά χρονολογική, και έχουν ομαδοποιηθεί με γνώμονα τα εξής χρονολογικά πλαίσια: Προϊστορική εποχή (40.000 Π.Κ.Ε. ως και το τέλος της Εποχής του Χαλκού), Αρχαίοι χρόνοι (από το τέλος της Εποχής του Χαλκού ως και τους Ρωμαϊκούς χρόνους), Μεσαίωνας και βυζαντινοί χρόνοι, Αναγέννηση, και τέλος 18^{ος}-19^{ος} αι. Για τις χρωστικές των μεταβυζαντινών χρόνων –που αφορούν πιο άμεσα τους στόχους της παρούσας πτυχιακής– γίνεται ειδική μνεία σε ξεχωριστή ενότητα. Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να σημειωθεί πως, ιδιαίτερα όσον αφορά τους προϊστορικούς και αρχαίους χρόνους, τα διαθέσιμα αρχαιολογικά τεκμήρια και οι –σχετικά περιορισμένες– φιλολογικές πηγές καθιστούν σε πολλές περιπτώσεις αρκετά δύσκολο τον σαφή προσδιορισμό της στιγμής έναρξης χρήσης μιας χρωστικής ύλης. Επομένως η προαναφερθείσα ομαδοποίηση έχει περισσότερο σαν στόχο να διαμορφώσει ο αναγνώστης μια γενική αντίληψη της εξελικτικής πορείας από τις παλαιότερες χρωστικές στις νεότερες, παρά να παρουσιάσει έναν ακριβή χρονολογικό πίνακα. Τέλος, στα πλαίσια της ιστορικής αναδρομής της παρούσας ενότητας, κάθε χρωματική ύλη παρατίθεται αρκετά συνοπτικά. Ωστόσο στο παράρτημα υπάρχει σχετικός πίνακας (βλ. Πίνακας 5), όπου αναγράφονται αναλυτικά οι ονομασίες των χρωματικών υλών, ο χημικός τους τύπος, αν είναι ανόργανες ή οργανικές, φυσικές ή συνθετικές, και η περίοδος εντοπισμού τους σε ζωγραφικά έργα.

Χρήσιμη ορολογία

Χρωστική: Μία έγχρωμη ουσία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό ζωγραφικής, αφού πρώτα κονιοποιηθεί και αναμιχθεί με κάποιο συμβατό συνδετικό υλικό. Τα σωματίδια της κονιάς –κρυσταλλικά ή άμορφα– πρέπει να έχουν λειοτριβηθεί επαρκώς, ώστε να έχουν όλα το ίδιο –πολύ μικρό– μέγεθος. Τα σωματίδια δεν διαλύονται στο συνδετικό μέσο, επομένως όταν αναφερόμαστε σε *χρωστικές*, πρόκειται για διασπορά υλικού (κονία) σε ένα άλλο (συνδετικό μέσο). Μία χρωστική μπορεί να είναι οργανική ή ανόργανη, να προκύπτει φυσικά ή να έχει συντεθεί από τον άνθρωπο.

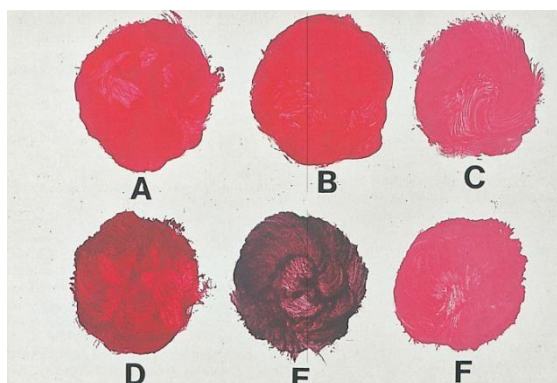


Εικόνα 7: Παράδειγμα μακροσκοπικής απεικόνισης ορυκτού αζουρίτη, μικροσκοπικής απεικόνισης κονιοποιημένου αζουρίτη εφαρμοσμένου ως χρωστική σε κυανό χρωματικό στρώμα και μακροσκοπικής απεικόνισης διερχόμενου φωτισμού κόκκων χρωστικής κονιοποιημένου αζουρίτη. Πηγή: Roy 2012.

Στις ανόργανες χρωστικές περιλαμβάνονται άλατα (θειούχα, θειικά, ανθρακικά, χρωμικά, πυριτικά) και οξείδια μετάλλων. Πολλές από αυτές τις ενώσεις υφίστανται ως ορυκτές ύλες γεωλογικής προέλευσης. Εκτός από οργανικές και ανόργανες ενώσεις, στις χρωστικές συμπεριλαμβάνονται και ορισμένα σύμπλοκα αλάτων, ενώ υπάρχουν και κάποια στοιχεία που έχουν χρησιμοποιηθεί στην καθαρή τους μορφή (άνθρακας, χρυσός, άργυρος).

Φυσική βαφή: Οι βαφές διαφοροποιούνται από τις χρωστικές, καθώς αποτελούν ουσίες διαλυτές σε νερό ή άλλους διαλύτες. Εφαρμόζονται είτε με εμβάπτιση του επιθυμητού αντικειμένου προς βαφή (συνήθως υφάσματα), είτε αφού μετατραπούν σε λάκες. Η δεύτερη περίπτωση είναι αυτή που βρίσκει εφαρμογή στη ζωγραφική. Οι φυσικές βαφές, τουλάχιστον όσες υφίσταντο κατά την περίοδο που εξετάζουμε, αποτελούσαν ως επί το πλείστον οργανικά υλικά. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στη ζωγραφική ως λάκες, προσθέτονταν στις υδατοδιαλυτές βαφές αδρανή, ημιδιαφανή προστύμματα, από τα οποία αυτές προσροφούνταν. Το αποτέλεσμα ήταν μία ουσία μη διαλυτή πλέον σε νερό και διαλύτες. Τυπικά, τα προστύμματα περιλάμβαναν ανόργανα άλατα και ως επί το πλείστον στυπτηρία [AlO(OH)], αλλά και θειικό ασβέστιο (CaSO₄).

Ουσιαστικά, μέσω της διαδικασίας παρασκευής της λάκας, τα σωματίδια του προστύμματος προσδένονται σε συγκεκριμένη λειτουργική ομάδα των μορίων της βαφής, επομένως η τελική ουσία παρουσιάζει μεικτή σύσταση.



Εικόνα 8: Παράδειγμα του εύρους δυνατών αποχρώσεων που μπορεί να έχει μία φυσική βαφή (εδώ καρμίνη από κοχινίλη) ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής της (A-C), και η παραγόμενη λάκα ανάλογα με το αδρανές πρόστυμμα που θα επιλεγθεί (D-F). Πηγή: Roy 2012.

Συχνά, αντί ή συμπληρωματικά με τη χρήση στυπτηρίας έχει εντοπιστεί η προσθήκη σε λάκες, μεταξύ άλλων, μαρμαρόσκονης, λευκού του μολύβδου, κονιοποιημένων κελυφών, λευκών γαιών, οξειδίου του κασσιτέρου, οξειδίου του ψευδαργύρου και θεικού βαρίου. Μάλιστα, σε πολλές περιπτώσεις, αναλόγως με το είδος της βάσης στην οποία προστίθεται μία φυσική βαφή, διαφοροποιείται και η απόχρωση της παραγόμενης λάκας. Μία βαφή μπορεί να είναι φυσική ή συνθετική, οι λάκες όμως θεωρούνται σε κάθε περίπτωση συνθετικό προϊόν (Gettens and Stout 1966, Mora *et al* 1984, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Saunders and Kirby 1994, Sotiropoulou and Daniilia 2010, Vitorino 2012, Μαστροθεόδωρος 2016).

Προϊστορικοί χρόνοι

40.000Π.Κ.Ε. ως και το τέλος της Εποχής του Χαλκού

Η ιδέα της αξιοποίησης έγχρωμων υλών με σκοπό τον χρωματισμό επιφανειών και τον σχεδιασμό μορφών ακολουθεί τον άνθρωπο από την Παλαιολιθική Εποχή. Ίχνη επεξεργασίας χρωστικών έχουν εντοπιστεί από έως και 100.000 χρόνια πριν, πολύ νωρίτερα δηλαδή από τις πρώτες γνωστές βραχογραφίες, οι οποίες έχουν ανακαλυφθεί σε τοιχώματα σπηλαίων. Στις βραχογραφίες αυτές διαπιστώνεται ήδη η γνώση του ανθρακικού ασβεστίου (συγκεκριμένα λευκό της κιμωλίας), του μαύρου του άνθρακα⁴ και διάφορων σιδηρούχων γαιωδών χρωστικών, όπως πράσινης γαίας, διάφορων κίτρινων και κόκκινων γαιών (ώχρες), καστανοκίτρινων και καστανοκόκινων χρωστικών τύπου όμπρας και σιέννας⁵. Αργότερα, την Εποχή του Χαλκού, στις τοιχογραφίες της Αιγύπτου, της Μινωικής Κρήτης, της Θήρας, της Τίρυνθας και των Μυκηνών κάνουν την εμφάνισή τους το πράσινο του μαλαχίτη⁶, το κυανό του γλαυκοφανή, το κυανό του ριβεκίτη, το συνθετικό αιγυπτιακό κυανό, το λευκό που προέρχεται από όπτηση και κονιοποίηση οστών και, τέλος, το συνθετικό λευκό του μολύβδου. Το αιγυπτιακό κυανό αποτελεί την πρώτη συνθετική χρωστική, αλλά και το επικρατέστερο κυανό από τις πρώτες δυναστείες της Αιγύπτου (4^η/3^η χιλιετία Π.Κ.Ε.) ως το τέλος των ρωμαϊκών χρόνων. Το λευκό του μολύβδου, αν και τοξικό, αποτέλεσε την κύρια λευκή χρωστική ως τον 19^ο αι, καθώς παρουσίαζε καλύτερη καλυπτικότητα από άλλες εναλλακτικές, όπως κιμωλία ή καολίνη, και έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα με όλα τα συνδετικά μέσα⁷. Μέσα στην Εποχή του Χαλκού εντοπίζουμε επίσης τη χρήση της κόκκινης και κίτρινης σανδαράχης, καθώς και τις πρώτες ενδείξεις εισαγωγής της βαφής της πορφύρας από

⁴ Ως μαύρο του άνθρακα μπορεί να αναφέρεται οποιαδήποτε χρωστική εμπεριέχει στοιχειακό άνθρακα. Κατά την περίοδο που εξετάζουμε πρόκειται ως επί το πλείστον για απανθρακωμένες φυτικές και ζωικές οργανικές ύλες (Μαστροθεόδωρος 2016).

⁵ Ο όρος *πράσινη γαία* περιγράφει μία ύλη πράσινου χρώματος (τόνοι λαχανί, σμαραγδί και γκρι-πράσινοι), που στη σύστασή της είναι πυριτιούχος πηλός πλούσιος σε σίδηρο. Χρωστικές του εν λόγω τύπου προκύπτουν από ορυκτά όπως ο σελαδονίτης, ο γλαυκονίτης, ο κροστεντίτης, ο μοντμοριλλονίτης και ο χλωρίτης. Οι ώχρες επίσης αποτελούν μίγματα αργιλοπυριτικών οξειδίων με οξειδία του σιδήρου. Τα προαναφερθέντα οξειδία του σιδήρου αποτελούν διάφορα ορυκτά, καθένα από τα οποία έχει ξεχωριστή απόχρωση. Η κίτρινη ώχρα δύναται να συλλεχθεί στη φυσική της μορφή ως το ορυκτό λειμωνίτης, η κόκκινη ως αιματίτης, η κίτρινη-καστανή ως γκαϊτίτης. Στην ίδια κατηγορία συμπεριλαμβάνονται οι διάφορες όμπρες και σιέννες, με τη διαφορά πως στη σύστασή τους εντοπίζονται και κάποιες ποσότητες οξειδίων του μαγγανίου (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Καπετανίδης 2005, Feller 2012, CAMEO).

⁶ Ο μαλαχίτης και ο αζουρίτης είναι δύο δευτερογενή ορυκτά του χαλκού και εντοπίζονται συνήθως μαζί, στις άνω ζώνες οξείδωσης χαλκούχων κοιτασμάτων (Μαστροθεόδωρος 2016).

⁷ Το λευκό του μολύβδου έχει εφαρμοστεί με συνδετικό μέσο ξηραϊνόμενα έλαια, αραβικό κόμμι, ζωική κόλλα, κερι με τη μέθοδο της εγκαυστικής, ως αυγοτέμπερα αλλά και σε νοπογραφίες (Roy 2012).

την Ανατολή, η οποία πιθανότατα χρησιμοποιήθηκε και ως χρωστική (Σημαντώνη-Μπόκολα 1987, Mayer 1970, Καπετανίδης 2005, Τσίλαγα 2011, Roy 2012, FitzHugh 2012, Cooksey 2013).

Αρχαίοι χρόνοι

Από το τέλος της Εποχής του Χαλκού ως και τους Ρωμαϊκούς χρόνους (10^{ος} αι. Π.Κ.Ε. - 5^{ος} αι. Κ.Ε.)

Από το τέλος των μυκηναϊκών ανακτόρων μέχρι τους πρώιμους ελληνοιστικούς χρόνους, τα ευρήματα και οι γνώσεις μας όσον αφορά στην τέχνη της ζωγραφικής –η οποία γνωρίζουμε από βιβλιογραφικές πηγές ότι συνέχισε να εξασκείται– είναι αρκετά περιορισμένα. Τον 6^ο αι. Π.Κ.Ε. εντοπίζεται χρήση του κυανού από το ορυκτό αζουρίτη (FitzHugh 2012), ενώ τον ίδιο αιώνα –και ενδεχομένως νωρίτερα στο χώρο της Μικράς Ασίας– βρίσκεται σε χρήση η κιννάβαρη, φυσική χρωστική με έντονο κόκκινο χρώμα (Roy 2012). Επίσης, τουλάχιστον από την κλασική αρχαιότητα, χρησιμοποιούνται ως λευκή χρωστική το λευκό του μολύβδου, διάφορες μορφές ανθρακικού ασβεστίου, και κυρίως η κιμωλία (Roy 2012). Φαίνεται πάντως πως οι ζωγράφοι των κλασικών χρόνων στον ελλαδικό χώρο, αν και γνώριζαν το εύρος των διαθέσιμων ήδη από τους προηγούμενους αιώνες χρωστικών, προτιμούσαν να περιορίζουν την παλέτα τους σε τέσσερα μόνο χρώματα, λευκό (ανθρακικό ασβέστιο ή λευκό του μολύβδου), μαύρο του άνθρακα, κόκκινο και κίτρινο (κατά πάσα πιθανότητα ώχρες) (Ball 2012). Τέλος υπάρχουν ενδείξεις πως, τουλάχιστον από τον 4^ο αι. Π.Κ.Ε., η ιώδης βαφή πορφύρα έβρισκε χρήση και ως χρωστική (Kakoulli 2002).

Από τα πιο χαρακτηριστικά δείγματα ζωγραφικής με τη χρήση χρωστικών⁸ των ιστορικών χρόνων είναι οι μακεδονικές τοιχογραφίες. Εκεί βλέπουμε να έχει χρησιμοποιηθεί η κιννάβαρη, η οποία αναδείχθηκε στο δημοφιλέστερο κόκκινο χρώμα της αρχαιότητας, καθώς έδινε πολύ πιο έντονο τόνο από αυτόν του αιματίτη⁹. Οι διάφορες ώχρες με βάση το σίδηρο, όντας και πιο

⁸ Από τους ιστορικούς χρόνους και ιδιαίτερα την αρχαϊκή και κλασική περίοδο διαθέτουμε μεγάλο αριθμό εξαιρετικών δειγμάτων της ζωγραφικής τέχνης της περιόδου στην επιφάνεια πήλινων αγγείων. Ο λόγος που δεν γίνεται αναφορά σε αυτά είναι πως οι παραστάσεις αυτές δεν πραγματοποιούνταν με χρωστικές ουσίες, αλλά επιτυγχάνονταν κατά την όπτηση, μέσω χημικών αντιδράσεων των διάφορων οξειδίων του σιδήρου που περιέχονται στον πηλό. Βλ. περισσότερα: Αλούπη 1993.

⁹ Αυτή την περίοδο εκτός από την κιννάβαρη υπάρχουν και δύο άλλες έντονα κόκκινες ουσίες, η κόκκινη σανδαράχη και η πορφύρα. Ωστόσο η κόκκινη σανδαράχη πολύ σπάνια χρησιμοποιούνταν ως χρωστική, καθώς είναι πολύ τοξική και ήταν γνωστό δηλητήριο. Η πορφύρα από την άλλη χρησιμοποιούνταν κυρίως ως βαφή για υφάσματα. Πρέπει να αναφερθεί ωστόσο πως ένας τύπος πορφύρας αναμεμιγμένη με κιμωλία έχει χρησιμοποιηθεί στην Πομπηία (Καπετανίδης 2005).

οικονομικές, εξακολούθησαν να χρησιμοποιούνται, συμπληρώνοντας την παλέτα των ερυθρών αποχρώσεων. Επίσης χρησιμοποιούνταν το φυσικό μίνιο –το οποίο αν και σαν σκόνη είναι κόκκινο, στην τελική επιφάνεια έδινε μάλλον πορτοκαλί απόχρωση– αλλά και η πορφύρα (Karapanagiotis 2019).

Κατά τους ελληνιστικούς χρόνους διαπιστώνεται η χρήση της –ήδη γνωστής– κόκκινης σανδαράχης ως χρωστική. Με τη χρήση κίτρινης και κόκκινης σανδαράχης μπορούσαν πλέον να επιτευχθούν λαμπεροί τόνοι του κίτρινου και πορτοκαλί, ωστόσο και οι δύο χρωστικές έχουν υψηλή τοξικότητα, εξαιτίας της περιεκτικότητάς τους σε αρσενικό. Τον 2^ο αι. Π.Κ.Ε. εντοπίζεται η χρήση λάκας περιέχουσας την έγχρωμη ουσία που προκύπτει από τις ρίζες του θάμνου ριζάρι (*ερυθρόδανο το βαφικό*), η οποία αξιοποιούταν ήδη από την Εποχή του Χαλκού ως βαφή για υφάσματα. Σε αντίθεση πάντως με τη –δημοφιλέστερη μάλλον– βαφή από ριζάρι, τα παραδείγματα χρήσης λάκας που διαθέτουμε είναι πολύ περιορισμένα, τουλάχιστον μέχρι τον 17^ο αι. Οι αποχρώσεις της λάκας από ριζάρι, ανάλογα με τη σύσταση της πρώτης ύλης αλλά και τον τρόπο παραγωγής της τελικής ουσίας, μπορούσαν να κυμαίνονται από ιώδες, βαθύ κόκκινο και βυσσίני μέχρι ροζ, ενώ παρουσίαζαν και κάποια διαφάνεια. Τον 1^ο αι. Π.Κ.Ε. διαπιστώνονται οι πρώτες αναφορές στον ευρωπαϊκό χώρο και στο ινδικό, μια κυανή-λουλακί φυσική οργανική βαφή, επίσης χρησιμοποιούμενη ως χρωστική¹⁰, με την προσθήκη συνήθως κάποιας λευκής ουσίας (λ.χ. λευκό του μολύβδου, γύψος, κελύφη κ.ά.). Οι ουσίες αυτές εφαρμόζονταν για να ρυθμίσουν το χρώμα, τη διαφάνεια και το ιξώδες του ινδικού, όχι ως στερεωτικά προστύμματα. Αντίθετα με άλλες φυσικές βαφές, το ινδικό δεν απαιτεί τη μετατροπή του σε λάκα, αρκεί η κονιοποίησή του για να χρησιμοποιηθεί ως χρωστική (Gettens and Stout 1966, Χριστοφορίδου *et al* 2006, Τσίλαγα 2011, FitzHugh 2012, Μαστροθεόδωρος 2016, Mafredas 2017).

Στη διάρκεια των Ρωμαϊκών χρόνων διαπιστώνεται μια γενικότερη τάση διερεύνησης των τρόπων σύνθεσης χρωστικών. Σε αυτά τα πλαίσια επιτεύχθηκε η παρασκευή κόκκινων και κίτρινων παραλλαγών του φυσικού μίνιου με φρύξη λιθάργυρου, αλλά και συνθετικής κόκκινης ώχρας (αιματίτη) με φρύξη της φυσικής κίτρινης (λειμωνίτη). Επίσης παρασκευάστηκε ένα υλικό που προσιδίαζε στη χρήση με μαλαχίτη, το συνθετικό *verdigris*¹¹ (πράσινος οξικός χαλκός). Μία γενικότερη εικόνα των χρωστικών της περιόδου μπορούμε να σχηματίσουμε εξετάζοντας τις

¹⁰ Στην αρχαιότητα η οργανική χρωστική ινδικό εισαγόταν στον ευρωπαϊκό χώρο από την Ινδία, όπου παραγόταν από φύλλα φυτών του γένους *indigofera*. Στην Ανατολή και την Αίγυπτο έχει διαπιστωθεί η χρήση του σαν βαφή, αλλά στην Ευρώπη φαίνεται να αξιοποιήθηκε κυρίως ως χρωστική. Στον χώρο της Μεσογείου και της Ευρώπης εντοπίζεται και ένα γηγενές φυτό (κρητίδα/ίσατις) το οποίο μπορούσε να δώσει ένα αντίστοιχο χρώμα. Αυτό φαίνεται πως επίσης χρησιμοποιούνταν, αν και ενδεχομένως σε μεγαλύτερο βαθμό ως βαφή (FitzHugh 2012).

¹¹ Προκύπτει από την τεχνητή διάβρωση πλάκας χαλκού με οξικό οξύ. Το οξικό οξύ αποτελεί το βασικό παραπροϊόν οινοποίησης, γ' αυτό και η βασική παραγωγή του *verdigris* λάμβανε χώρα σε περιοχές με οινοποιία (Roy 2012).

εξαιρετικά διατηρημένες τοιχογραφίες που αποκαλύφθηκαν στην Πομπηία. Σε αυτές έχει διαπιστωθεί η χρήση κιννάβαρης, οξειδίων του σιδήρου (αιματίτης, λειμωνίτης, γκαιτίτης), πορφύρας, κόκκινης και κίτρινης σανδαράχης, μαλαχίτη, πράσινης γαίας, αιγυπτιακού κυανού απόχρωσης κυανής και πράσινης, κίτρινου από μάζσικοτ¹², πορτοκαλί από μίνιο¹³ και άλλων. Πηγές της περιόδου υποδεικνύουν πως από τους ρωμαϊκούς χρόνους χρησιμοποιείται ως χρωστική και το λεγόμενο *αίμα του δράκου*, κόκκινη ρητίνη προερχόμενη από δέντρα της νοτιοανατολικής Ασίας. Τέλος, σε έργα της ρωμαϊκής περιόδου έχει εντοπιστεί κυανό από το ορυκτό βιβιανίτη (Σημαντώνη-Μπόκολα 1987, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Καπετανίδης 2005, Feller 2012, Roy 2012, Μαστροθεόδωρος 2016, Karapanagiotis 2019, ColourLex).

Μεσαίωνας

5^{ος} - 15^{ος} αι. Κ.Ε.

Τον 6^ο και 7^ο αι. Κ.Ε. κάνει την εμφάνισή της σε τοιχογραφίες στην περιοχή του Αφγανιστάν η κυανή χρωστική από το ορυκτό λαζουρίτη¹⁴, το λεγόμενο μπλε *ultramarine*. Στον ευρωπαϊκό χώρο γνώρισε ευρεία χρήση στη ζωγραφική σε ξύλο, ιδίως τον 14^ο και 15^ο αι. Κ.Ε.¹⁵ Επίσης στον 8^ο αι. Κ.Ε. τοποθετείται, σύμφωνα με σύγχρονες πηγές, η παρασκευή της συνθετικής κιννάβαρης, του επονομαζόμενου δηλαδή βερμιγιόν (*vermilion*). Η χρωστική χρησιμοποιήθηκε

¹² Το μάζσικοτ αποτελεί οξείδιο του μολύβδου (PbO). Είναι μία κίτρινη χρωστική που προκύπτει από την φρύξη του λιθαργύρου. Κατά τους Μεσαιωνικούς Χρόνους ο όρος λανθασμένα χρησιμοποιούνταν για να αποδώσει το κίτρινο μολύβδου - κασσιτέρου (Καπετανίδης 2005, Roy 2012).

¹³ Το συνθετικό μίνιο αποτελεί οξείδιο του μολύβδου, και παρουσιάζει όμοια χημική και κρυσταλλογραφική σύσταση με το φυσικό (Pb₃O₄). Η σύνθεσή του προκύπτει από την φρύξη λιθαργύρου. Η κόκκινη χρωστική (ερυθρός μόλυβδος) έδινε πορτοκαλί απόχρωση, και αποκαλούνταν *cerussa usta*, *mennige* ή απλώς *minium* (Καπετανίδης 2005, Feller 2012, Ball 2012).

¹⁴ Το ορυκτό λαζουρίτης εντοπίζεται στο πέτρωμα λάπις λάζουλι, έναν ημιπολύτιμο λίθο δημοφιλή ήδη από τους προϊστορικούς χρόνους. Αν και ο ίδιος ο λίθος είχε διάφορες χρήσεις, δεν εντοπίζονται ενδείξεις της μετατροπής του σε χρωστική πριν τον 6^ο αι Κ.Ε (Roy 2012).

¹⁵ Το υψηλό κόστος του εισαγόμενου λάπις λάζουλι και η επίπονη διαδικασία απόσπασης της χρωστικής κατέστησαν εκείνη την περίοδο το μπλε *ultramarine* εξίσου ακριβό με τον χρυσό. Για το λόγο αυτό συχνά προηγούνταν ως υπόστρωμα κάποια άλλη κυανή ή μαύρη χρωστική (Roy 2012).

ευρέως σε όλη τη διάρκεια του Μεσαίωνα και μέχρι τον 19^ο αι¹⁶ (Σημαντώνη-Μπόκολα 1987, Τσίλαγα 2011, Roy 2012, Ball 2012).

Παράλληλα, κατά τους μεσαιωνικούς χρόνους διαπιστώνεται εκτεταμένη εισαγωγή στην Ευρώπη βαφής από αιματόξυλο (*brazilwood*), η οποία χρησιμοποιήθηκε ευρέως και ως κόκκινη λάκα, ιδιαίτερα –αλλά όχι μόνο– στην εικονογράφηση χειρογράφων. Γενικότερα, από αυτή την περίοδο ως και τον 19^ο αι. διαπιστώνουμε σε πολλές περιπτώσεις τη χρήση σε ζωγραφικά έργα διάφορων οργανικών βαφών (λ.χ. ριζάρι, αιματόξυλο, καρμίνια, γομαλάκα) σε μορφή λάκας, με αποχρώσεις που κυμαίνονταν από κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο μέχρι μπορντώ, βιολέ και ροζ. Από αυτές, το αιματόξυλο αποτελούσε μάλλον την πιο οικονομική εναλλακτική, ενώ ιδιαίτερα ακριβή ήταν η καρμίνια. Η λάκα από ριζάρι (*γκαράνας*) φαίνεται να επιδείκνυε, συγκριτικά με τις άλλες λάκες, την καλύτερη αντοχή στο χρόνο (Σημαντώνη-Μπόκολα 1987, Saunders and Kirby 1994, Vitorino 2012). Κατά τους μεσαιωνικούς χρόνους υπάρχουν ενδείξεις χρήσης της πορφύρας ως χρωστική, ωστόσο περιορίζονται στην εικονογράφηση χειρογράφων (Karapanagiotis 2019).

Όπως προαναφέρθηκε, ήδη από τους ρωμαϊκούς χρόνους εντοπίζεται η χρήση του *verdigris*, συνθετικής γαλαζοπράσινης χρωστικής που προσιδίαζε σε μαλαχίτη. Στην ευρωπαϊκή ζωγραφική το συναντάμε από τον 13^ο αι, με τη χρήση του να κορυφώνεται μεταξύ 15^{ου} και 17^{ου} αι.. Η αντίδραση του *verdigris* με ρητίνες δίνει ως προϊόν χαλκούχα άλατα ρητινικών οξέων, τις λεγόμενες ρητίνες χαλκού¹⁷ (*copper resinates*). Οι ρητίνες χαλκού, υλικά με πράσινο χρώμα και μεγάλη διαφάνεια, εντοπίζονται στη ζωγραφική του 15^{ου} και 16^{ου} αι., κυρίως ως λαζούρες¹⁸, για να αποδώσουν μια αίσθηση στιλπνότητας. Γενικά επιδεικνύουν μεγαλύτερη σταθερότητα από το *verdigris* (San Andrés *et al.* 2010, Roy 2012). Ως προς τις χρωστικές κυανού χρώματος, εξακολουθεί (και μέχρι τα τέλη του 18^{ου} αι.) να εντοπίζεται –καίτοι πολύ σποραδικά– η χρήση του κυανού του βιβιανίτη (Μαστροθεόδωρος 2016). Η βασικότερη πάντως κυανή χρωστική στους

¹⁶ Το *vermilion*, το *ultramarine* και τα φύλλα χρυσού αποτελούσαν τα πιο πολύτιμα υλικά που μπορούσε ένας καλλιτέχνης να συμπεριλάβει στο έργο του. Ως εκ τούτου, απέκτησαν συμβολικό χαρακτήρα. Το χρυσό χρησιμοποιούνταν στα φωτοστέφανα και τον κάμπο για να δηλώσει πνευματικότητα και υπερβατικότητα, ενώ με *ultramarine* και *vermilion* αποδίδονταν τα ενδύματα των πιο σημαντικών μορφών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι πως, τουλάχιστον στη δυτική μεσαιωνική τέχνη, σε πάρα πολλές περιπτώσεις τα ενδύματα της Παναγίας είναι ζωγραφισμένα με μπλε *ultramarine* χρώμα (Ball 2012).

¹⁷ Δεν είναι πάντα ασφαλής η υπόθεση πως οι ρητίνες χαλκού έχουν χρησιμοποιηθεί σκόπιμα, καθώς αντίστοιχες ουσίες μπορούν να σχηματιστούν κατά την αντίδραση του *verdigris* με κάποιο συνδετικό υλικό (Mastrotheodoros *et al* 2020).

¹⁸ Το πράσινο του *verdigris*, λόγω της περιορισμένης καλυπτικής του ικανότητας σε ζωγραφική με λάδι, όταν δεν χρησιμοποιούταν ως λαζούρα, εφαρμόζονταν αναμειγμένο με λευκό του μολύβδου και/ή κίτρινο μολύβδου-κασσιτέρου. Το αδιαφανές αυτό στρώμα *verdigris* με λευκό μολύβδου/κίτρινο μολύβδου-κασσιτέρου επικαλυπτόταν συχνά με ένα τελικό διαφανές στρώμα ρητίνης χαλκού, δίνοντας ως αποτέλεσμα ένα βαθύ πράσινο με μεγάλο κορεσμό (Roy 2012).

μεσαιωνικούς χρόνους ήταν ο αζουρίτης¹⁹, που επικράτησε μέχρι και την εμφάνιση του κυανού της Πρωσίας τον 18^ο αι. Ο μαλαχίτης εξακολουθεί να χρησιμοποιείται στην ευρωπαϊκή ζωγραφική κατά τους μεσαιωνικούς χρόνους και ως τον 17^ο αι., αλλά σε μικρότερο βαθμό συγκριτικά με τον αζουρίτη, και περισσότερο σε αυγοτέμπερα παρά σε λάδι (Roy 2012).

Σε χρήση εξακολουθούν να βρίσκονται κίτρινες και κόκκινες γαιώδεις χρωστικές, καθώς και οι πράσινες γαίες. Οι πράσινες γαίες (όπως και άλλες χρωστικές σκούρου χρώματος) χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στη μεσαιωνική ζωγραφική, ήδη από τον 11^ο αι., ως πρώτο στρώμα, κάτω από τις περιοχές όπου θα ζωγραφίζονταν στοιχεία του σώματος, σε σημεία δηλαδή όπου επιθυμούσαν να αποδώσουν το χρώμα του δέρματος των μορφών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιούταν και στη βυζαντινή ζωγραφική, όπου το υπόστρωμα αυτό ονομαζόταν *προπλασμός*. Επίσης, η πράσινη γαία έχει χρησιμοποιηθεί και σαν μπόλο, δηλαδή ως σιδηρούχο αργιλώδες υπόστρωμα επάνω στο οποίο τοποθετούνταν τα χρυσώματα. Η χρήση πράσινης γαίας σταδιακά εγκαταλείπεται κατά την Αναγέννηση, λόγω των μη ικανοποιητικών ιδιοτήτων της χρωστικής εφαρμοσμένης σε ξηραίνόμενα έλαια (Feller 2012, Μαστροθεόδωρος 2016). Παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν διάφορες πράσινες διαφανείς χρωστικές ουσίες φυτικής προέλευσης, ως βελτιωτικά του τόνου άλλων πράσινων. Τέλος, σε όλες τις περιόδους της ευρωπαϊκής ζωγραφικής εντοπίζεται η χρήση σιέννας, επίσης γαιώδους χρωστικής με περιεκτικότητα σε μαγγάνιο (Gettens and Stout 1966, Σημαντώνη-Μπόκολα 1987).

Σε χρήση βρίσκεται και η κιμωλία (ανθρακικό ασβέστιο), η οποία πλέον, πέρα από χρωστική ²⁰, χρησιμοποιείται –κυρίως στη βόρεια Ευρώπη– και στην προετοιμασία του υποστηρίγματος για να δεχθεί τη ζωγραφική επιφάνεια. Επίσης, εφαρμόζεται ως πληρωτικό υλικό σε άλλες χρωστικές (λ.χ. ώχρες), επιτρέποντας διαβαθμίσεις στη στιλπνότητα και την υφή (Roy 2012). Τέλος από τον 14^ο αι. βλέπουμε να χρησιμοποιείται ως χρωστική το κίτρινο μολύβδου-κασσιτέρου²¹, το οποίο εξαφανίζεται τον 18^ο αι. και μέχρι την επανανακάλυψή του στα μέσα του 20^{ού} αι. (Σημαντώνη-Μπόκολα 1987, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Roy 2012). Αξίζει να σημειωθεί πως στη μεσαιωνική ζωγραφική, οι κίτρινες χρωστικές σπάνια

¹⁹ Το ορυκτό αζουρίτης ήταν γνωστό ήδη από τους προϊστορικούς χρόνους. Ωστόσο, κατά την αρχαιότητα η χρήση του ήταν περιορισμένη, γιατί προτιμούνταν το συνθετικό αιγυπτιακό κυανό (Roy 2012).

²⁰ Όταν η κιμωλία εφαρμόζονταν με συνδετικό μέσο το λάδι έπρεπε να συνδυάζεται και με κάποια άλλη χρωστική (λευκό του μολύβδου, λευκό του ψευδαργύρου), καθώς η ένταση το χρώματος και η καλυπτικότητα της δεν είναι ικανοποιητική. Αυτά τα χαρακτηριστικά της βέβαια αξιοποιήθηκαν όταν ήταν επιθυμητό να προσδοθεί κάποια διαφάνεια στα στρώματα (Roy 2012).

²¹ Το κίτρινο μολύβδου-κασσιτέρου εμφανίζεται σε δύο τύπους. Ο τύπος II [Pb(Sn,Si)O₃] είναι προτιμότερος και απαντάται πιο σπάνια, ο τύπος I (Pb₂SnO₄) διαδέχθηκε τον τύπο II και απαντάται πολύ συχνότερα. Πηγές της περιόδου -από τη βόρεια κυρίως Ευρώπη- αποδίδουν στο κίτρινο μολύβδου-κασσιτέρου την ονομασία μιας άλλης κίτρινης χρωστικής, του μασσικот (PbO). Το ίδιο φαίνεται να ισχύει και με τον όρο *giallolino* (*giallorino*), που απαντάται σε ιταλικά κείμενα της περιόδου (Roy 2012).

χρησιμοποιούνταν για να αποδώσουν το κίτρινο χρώμα. Στις πλείστες των περιπτώσεων, ο στόχος ήταν είτε να επιτευχθεί μια απομίμηση του χρυσού, είτε να αναμιχθούν με άλλες χρωστικές (κόκκινες, πράσινες) ώστε να μεταβληθεί σε κάποιο βαθμό η απόχρωση των τελευταίων (Μαστροθεόδωρος 2016).

Η κίτρινη σανδαράχη εμφανίζει εκτεταμένη χρήση στις μεσογειακές χώρες κατά το Μεσαίωνα. Κόκκινη και κίτρινη σανδαράχη έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εικόνες 12^{ου} ως 16^{ου} αι. από τη Βουλγαρία, τη Ρωσία και την πρώην Γιουγκοσλαβία. Επίσης, κόκκινη σανδαράχη έχει εντοπιστεί σε εικόνες της Βουλγαρίας, από τους μεσαιωνικούς χρόνους ως την περίοδο της Αναγέννησης. Ινδικό εντοπίζεται σε διάφορες ρωσικές εικόνες του 13^{ου}-14^{ου} αι (Σημαντώνη-Μπόκολα 1987, FitzHugh 2012).

Ως προς τις μαύρες χρωστικές, εξακολουθεί να γίνεται χρήση του μαύρου του άνθρακα, που μπορεί να προκύπτει από την όπτηση φυτικών υλών (λ.χ. βλαστοί κλίματος και σπόροι ροδάκινου) ή και από τη συλλογή αιθάλης. Τέλος, σε έργα του πρώιμου Μεσαίωνα έχουν εντοπιστεί γαίες που εμπεριέχουν ποσότητες πυρολουσίτη (Μαστροθεόδωρος 2016).

Οι χρωστικές που έχουν εντοπιστεί στα σύγχρονα έργα της βυζαντινής ζωγραφικής δεν διαφοροποιούνται ιδιαίτερα από τις αντίστοιχες της μεσαιωνικής Ευρώπης. Οι βυζαντινοί ζωγράφοι είχαν στη διάθεσή τους κιννάβαρη και αργότερα βερμιγιόν, κόκκινες και κίτρινες γαιώδεις χρωστικές, κίτρινη και κόκκινη σανδαράχη, το κυανό του αζουρίτη, το πράσινο του μαλαχίτη, λευκό του μολύβδου κ.α. χρωστικές (Μιλάνου 1987, Mafredas 2017, Καπετανίδης 2019)

Αναγέννηση

15^{ος} - 17^{ος} αι. Κ.Ε.

Από τον 15^ο αι. βλέπουμε να συμπεριλαμβάνονται στο μαύρο του άνθρακα και χρωστικές από απανθράκωση οστών. Επίσης, από τον 15^ο ως τον 17^ο αι. εντοπίζεται σποραδική χρήση μαύρης κιμωλίας, υλικού αποτελούμενου από γραφίτη που μπορεί όμως να εμπεριέχει και χαλαζία ή άλλα ορυκτά ή και οξείδια σιδήρου (Eastaugh *et al* 2004, Μαστροθεόδωρος 2016).

Εξακολουθούν, και ως τον 19^ο αι., να χρησιμοποιούνται η κίτρινη και κόκκινη σανδαράχη (FitzHugh 2012). Στις κίτρινες αποχρώσεις προστίθεται το ινδικό κίτρινο, το οποίο εντοπίζεται κυρίως σε στρώματα λαζούρας (Σημαντώνη-Μπόκολα 1987, Feller 2012). Ως προς τις κυανές αποχρώσεις, τον 15^ο και πιο εκτεταμένα τον 16^ο-18^ο αι. εισάγεται ως μια πιο οικονομική

εναλλακτική το σμάλτο, βαθιά κυανή χρωστική μικρής καλυπτικότητα, παραγόμενη από κονιοποιημένο γυαλί καλίου αναμεμιγμένο με οξειδία κοβαλτίου (Σημαντώνη-Μπόκολα 1987, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Roy 2012).

Στις αρχές του 16^{ου} αι. εισάγεται στην Ευρώπη από το Νέο Κόσμο η καρμίνη²² (καρμινικό οξύ), οργανική βαφή παραγόμενη από το έντομο κοχενίλη. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, οι οργανικές βαφές, μεταξύ αυτών και η καρμίνη, δύνανται να σχηματίσουν λάκες με την προσθήκη κάποιας ουσίας ως πρόστυμμα (λ.χ. στυπτηρία). Οι λάκες καρμίνας, ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής τους, λαμβάνουν διάφορες αποχρώσεις²³, από πορτοκαλί και κόκκινο μέχρι ιώδες και καστανό. Επίσης, κατά τον 17^ο και 18^ο αι. φαίνεται πως χρησιμοποιούνται κάπως πιο εκτεταμένα στη ζωγραφική οι λάκες από ριζάρι²⁴, ενώ τον 19^ο αι. επιτυγχάνεται η σύνθεση αυτής της έγχρωμης ουσίας (αλιζαρίνη)²⁵ εργαστηριακά. Παράλληλα, εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται οι λάκες από αιματόξυλο, με εύρος αποχρώσεων από ιώδες μέχρι βαθύ κόκκινο, οι οποίες –αν και κατώτερης ποιότητας– ήταν πιο οικονομικές από τις προαναφερθείσες εναλλακτικές. Οι λάκες, ειδικά οι κόκκινες, αποτέλεσαν αναπόσπαστο κομμάτι της ευρωπαϊκής ζωγραφικής, ιδιαίτερα από αυτή την περίοδο και εξής. Εφαρμοσμένες ως λαζούρες έδιναν μια αίσθηση διαφάνειας και βάθους, ενώ σε συνδυασμό με άλλες χρωστικές, μπορούσαν να αποδώσουν ένα εύρος αποχρώσεων. Οι κόκκινες λάκες αναμεμιγμένες με ή εφαρμοσμένες επάνω από λευκό και κυανό έδιναν αποχρώσεις ροζ και ιώδεις, ενώ οι κίτρινες αναμεμιγμένες με άλλα κίτρινα, καστανό ή κυανό έδιναν απαλά κίτρινα και πράσινα. Το βασικό τους μειονέκτημα ήταν η μη ικανοποιητική διατήρηση του χρώματος που επιδεικνύουν σε βάθος χρόνου, ιδιαίτερα όταν εφαρμόζονται σε αυγοτέμπερα (Σημαντώνη-Μπόκολα 1987, Saunders and Kirby 1994, Χριστοφορίδου *et al* 2006, Feller 2012, FitzHugh 2012, Vitorino 2012). Επίσης από τον 16^ο αι. και εξής διαπιστώνεται πως για πρώτη φορά χρησιμοποιούνται ευρέως στη ζωγραφική οι –ήδη

²² Μία αντίστοιχη χρωστική, που ονομάζεται επίσης καρμίνη, εντοπίζεται στην Ευρώπη και την Ανατολή ήδη από τους προϊστορικούς χρόνους. Πρόκειται για το κερμεσικό οξύ, που προέρχεται από το έντομο κέρμη. Η συγκεκριμένη καρμίνη κατά κύριο λόγο αποτελούσε βαφή για υφάσματα. Μετά την εισαγωγή της καρμίνας από κοχενίλη, η χρήση καρμίνας από κέρμη σε μεγάλο βαθμό εγκαταλείφθηκε (Feller 2012).

²³ Σε όξινο περιβάλλον η καρμίνη λαμβάνει πορτοκαλί απόχρωση και σε αλκαλικό βαθιά ιώδη, ενώ η προσθήκη σόδας (ανθρακικό νάτριο) προσδίδει στο διάλυμα έντονο κόκκινο χρωματισμό. Επίσης, ιόντα υδραργύρου/κασσιτέρου προσδίδουν στην καρμίνη απόχρωση βαθιά κόκκινη, ιόντα ψευδαργύρου/αλουμίνιου βυσσινί, ιόντα σιδήρου φαιά/μωβ (Feller 2012).

²⁴ Οι λάκες από ριζάρι απορροφούν σε μεγάλο βαθμό τα ξηραίνόμενα έλαια, και ως εκ τούτου το αποτέλεσμα που δίνουν αφού στεγνώσουν δεν είναι ικανοποιητικό. Για το λόγο αυτό, συχνά εκτός από το έλαιο προστίθετο και βερνίκι (FitzHugh 2012).

²⁵ Για την ακρίβεια, αρχικά απομονώθηκε και στη συνέχεια συντέθηκε η χημική ένωση αλιζαρίνη. Πρόκειται για μία από τις κύριες ενώσεις-βαφικά συστατικά που εντοπίζονται στα διάφορα είδη ριζαρίου (*ερυθρόδανο το βαφικό*), και η οποία ευθύνεται για το χαρακτηριστικό βυσσινί χρωματισμό. Άλλες δύο εξίσου σημαντικές ενώσεις είναι πουργουρίνη και η ψευδοπουργουρίνη (Χριστοφορίδου *et al* 2006, FitzHugh 2012).

γνωστές από την αρχαιότητα– καστανές όμπρες, γαιώδεις χρωστικές με σημαντική ποσότητα μαγγανίου (Gettens and Stout 1966).

Ένα άλλο οργανικό υλικό που φαίνεται να φτάνει στην Ευρώπη τον 17^ο αι. είναι το κίτρινο της Καμπότζης. Πρόκειται για ένα είδος ρητίνης κίτρινου χρώματος, η οποία αξιοποιήθηκε ως ημιδιαφανής χρωστική (λαζούρα) στη ζωγραφική με λάδι, κυρίως από τους Φλαμανδούς. Τέλος, τον ίδιο αιώνα ξεκινά να εντοπίζεται η χρήση του καστανού *Vandyke*, ιδιαίτερα σε λαζούρες (Σημαντώνη-Μπόκολα 1987, Feller 2012, FitzHugh 2012).

Τους αιώνες που στην Ευρώπη λαμβάνουν χώρα η Αναγέννηση και ακολούθως ο Διαφωτισμός, με όλες τις καίριες αλλαγές που αυτά επέφεραν σε όλους τους τομείς, στον ελλαδικό χώρο έχουμε την περίοδο της μεταβυζαντινής ζωγραφικής, η οποία αποτελεί εν πολλοίς συνέχεια του βυζαντινού πνεύματος και ζωγραφικού τρόπου. Δεν θα γίνει εδώ λόγος για τις αντιπροσωπευτικότερες χρωστικές των μεταβυζαντινών χρόνων (β' μισό 15^{ου}-αρχές 19^{ου} αι.), καθώς παρουσιάζονται αναλυτικά σε ξεχωριστή ενότητα με την ανάλογη βιβλιογραφία (βλ. παρακάτω).

18^{ος}-19^{ος} αιώνας

Στις αρχές του 18^{ου} αι. παράγεται το κυανό της Πρωσίας, που σταδιακά αντικαθιστά τον πιο ακριβό αζουρίτη και το κυανό *ultramarine*. Πρόκειται για την πρώτη σύγχρονη, πλήρως συνθετική χρωστική, η οποία παρέμεινε εξαιρετικά δημοφιλής για περίπου έναν αιώνα (Τσίλαγα 2011, FitzHugh 2012, Μαστροθεόδωρος 2016). Μέσα στον ίδιο αιώνα φαίνεται να γίνεται δημοφιλές το κίτρινο του αντιμονικού μολύβδου (κίτρινο της Νάπολης)²⁶, το οποίο σταδιακά αντικαθιστά το κίτρινο του μολύβδου-κασσιτέρου, και η ευρεία χρήση του οποίου εντοπίζεται ως τα μέσα του 19^{ου} αι. (Τσίλαγα 2011, Feller 2012, Κουή *et al* 2016). Μία άλλη συνθετική χρωστική που κατασκευάστηκε στις αρχές του 18^{ου} αι. ήταν το πράσινο του *Scheele*, με έντονες τονικές διαβαθμίσεις από απαλό κιτρινοπράσινο ως βαθύ πράσινο. Ο ιδιαίτερα περιορισμένος αριθμός ικανοποιητικών διαθέσιμων πράσινων χρωστικών συντέλεσε στην άμεση αξιοποίηση και συμπερίληψη της χρωστικής στην παλέτα των ζωγράφων. Ωστόσο αποδείχθηκε ασταθές και επιρρεπές στον αποχρωματισμό, με αποτέλεσμα να αντικατασταθεί στις αρχές του 19^{ου} αι. από

²⁶ Το κίτρινο της Νάπολης αποτελεί συνθετική χρωστική, η οποία εμφανίζεται για πρώτη φορά στους προϊστορικούς χρόνους. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως ως χρωστική υάλων και κεραμικών. Σε έργα ζωγραφικής εμφανίζεται για πρώτη φορά τον 17^ο αι. αλλά εκτεταμένα το βλέπουμε να χρησιμοποιείται την περίοδο 1750-1850 (Feller 2012).

μία νέα, επίσης συνθετική χρωστική, το πράσινο των Παρισίων (*emerald green*). Και αυτή η χρωστική όμως έπαυσε να διατίθεται στα μέσα του 20^{ου} αι. καθώς –όπως και το πράσινο του *Scheele*– περιείχε αρσενικό και, ως εκ τούτου, ήταν εξαιρετικά τοξική (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, FitzHugh 2012). Στα τέλη του 18^{ου} αι. κυκλοφόρησε και μια άλλη πράσινη συνθετική χρωστική, το πράσινο *Brunswick* (Μαστροθεόδωρος 2016).

Η περίοδος πάντως κατά την οποία εμφανίστηκε μία πραγματικά μεγάλη γκάμα νέων χρωστικών ήταν ο 19^{ος} αι., κάτι στο οποίο συντέλεσε η απομόνωση του κοβαλτίου το 1735, η ανακάλυψη του χρωμίου το 1797 και η γενικότερη οργάνωση της σύγχρονης χημείας. Στις αρχές του 19^{ου} αι. συντίθεται το κίτρινο του χρωμίου και το κίτρινο του καδμίου, ενώ στα μέσα του αιώνα το κίτρινο του ψευδαργύρου και το κίτρινο του κοβαλτίου²⁷. Από αυτά, πιο δημοφιλές υπήρξε το κίτρινο του χρωμίου. Τα πολλά είδη κίτρινου που κυκλοφόρησαν σταδιακά επέτρεψαν αντίστοιχα την παραγωγή πολλών αποχρώσεων πράσινου, ενώ παρατηρείται και μία τάση αντικατάστασης του *verdigris* από πράσινες γαίες (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Τσίλαγα 2011, Feller 2012). Παράλληλα, κατά το πρώτο μισό του 19^{ου} αι. επιτυγχάνεται η σύνθεση και δύο νέων, πολύ σταθερών πράσινων χρωστικών, το μουντό πράσινο τριοξειδίου του χρωμίου και το λαμπερό, κυανίζον, σχετικά διαφανές και πιο δημοφιλές διένυδρο τριοξειδίου του χρωμίου (*viridian green*), ενώ την ίδια περίοδο ξεκινά να διατίθεται ως χρωστική και το συνθετικό πράσινο του *Rinmann* (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Τσίλαγα 2011, FitzHugh 2012). Τέλος, στο πρώτο μισό του 19^{ου} αι. συντίθενται και δύο κυανές χρωστικές που γνώρισαν μεγάλη διάδοση, πρώτο το κυανό του κοβαλτίου και λίγο αργότερα το συνθετικό μπλε *ultramarine* (Μαστροθεόδωρος 2016).

Από το 1830 ξεκινά σταδιακά η προώθηση της χρήσης ως χρωστική του –γνωστού ήδη από την αρχαιότητα– λευκού του ψευδαργύρου, σε μια προσπάθεια να καταργηθεί το τοξικό λευκό του μολύβδου. Αρχικά, το λευκό του ψευδαργύρου παρουσίαζε κάποια μειονεκτήματα όταν εφαρμοζόταν σε ζωγραφική με λάδι, κυρίως ως προς τις ιδιότητες ξήρανσης και την καλυπτικότητα του. Ωστόσο, μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αι. η παραγωγή του βελτιώθηκε σημαντικά, και ως εκ τούτου η χρωστική επικράτησε. Παράλληλα, στις αρχές του αιώνα προωθείται στην αγορά ως χρωστική –αλλά και ως πρόσθετο σε άλλες χρωστικές– το λευκό του θεικού βαρίου, τόσο φυσικό (ορυκτό βαρύτης) όσο και συνθετικό (*blanc fixe*). Το θεικό βάριο παρείχε μία σχετικά οικονομική λευκή χρωστική, αδρανή, μη τοξική, αλλά με μέτρια καλυπτική ικανότητα. Χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο ως πρόσθετο σε άλλες χρωστικές (λ.χ. λευκό του μολύβδου) και ως πρόστυμμα σε λάκες. Το λευκό του βαρίου, όπως και άλλες λευκές χρωστικές με

²⁷ Το κίτρινο του κοβαλτίου εφαρμόζεται περισσότερο σε υδατοχρώματα, παρά με συνθετικό μέσο ξηραίνόμενα έλαια (Feller 2012).

περιορισμένη καλυπτική ικανότητα (λ.χ. γύψος, κιμωλία), έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα ως πρόσθετα, κάτι που στόχευε στη ρύθμιση της καλυπτικότητας, της υφής και των ιδιοτήτων επίστρωσης του εκάστοτε στρώματος, περιορίζοντας παράλληλα και τη χρήση των ακριβότερων χρωστικών στις οποίες προσετίθεντο. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν το πλεονέκτημα πως ο δείκτης διάθλασής τους είναι κοντά στο δείκτη διάθλασης του συνδετικού μέσου, με αποτέλεσμα να μην γίνονται αντιληπτά κατά την παρατήρηση του έργου. Στις τελευταίες δεκαετίες του 19^{ου} αι. βλέπουμε επίσης να κυκλοφορεί στο εμπόριο και να χρησιμοποιείται όλο και πιο εκτεταμένα η λευκή χρωστική λιθοπόνιο (μείγμα θεικού βαρίου και σουλφιδίου του ψευδαργύρου) (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Feller 2012, Κουή *et al* 2016).

Στο τελευταίο μισό του 19^{ου} αι. επιτυγχάνεται η σύνθεση διάφορων οργανικών χρωμοφόρων ουσιών. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονταν χρωστικές κίτρινες, πορτοκαλί και κόκκινες (μεταξύ αυτών η συνθετική αλιζαρίνη), το βιολέ της διοξαζίνης, το συνθετικό ινδικό και τα πρώτα χρώματα σε αποχρώσεις ιώδεις, με σύσταση βασισμένη σε πίσσα πεύκου και κάρβουνο. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως σε διάφορα έργα του δεύτερου μισού του 19^{ου} αι. έχει διαπιστωθεί η προσθήκη λάκας από αιματόξυλο σε άλλες οργανικές χρωστικές, με σκοπό τη μείωση του κόστους. Το 1850 εισάγεται το βιομηχανοποιημένο χρώμα, καθώς ξεκινούν να εμφανίζονται στην αγορά σωληνάρια λαδιού (Τσίλαγα 2011, Vitorino 2012).

Με βάση τα στοιχεία που παρατέθηκαν στις παραπάνω ενότητες, ακολουθεί μία σύνοψη των χρωστικών που μπορούμε να πούμε με μια σχετική ασφάλεια πως υπήρχαν διαθέσιμες στον ευρωπαϊκό χώρο κατά την περίοδο που εξετάζεται στην παρούσα πτυχιακή, δηλαδή κατά τον 19^ο αι. Στις αποχρώσεις του κόκκινου εντοπίζονται οι κόκκινες γαιώδεις χρωστικές, η συνθετική κιννάβαρη (*vermilion*), το συνθετικό μίνιο, το κόκκινο και πορτοκαλί του χρωμίου, το αίμα του δράκου, η έγχρωμη ουσία από αιματόξυλο, η κοχενίλη (καρμίνη), οι έγχρωμες ουσίες από ριζάρι και η συνθετική αλιζαρίνη. Στις αποχρώσεις του κίτρινου εντοπίζονται οι κίτρινες γαιώδεις χρωστικές, η κίτρινη σανδαράχη, το κίτρινο μολύβδου-κασσιτέρου-αντιμονίου, το κίτρινο της Νάπολης, το κίτρινο οξυχλωρίδιο του μολύβδου, τα διάφορα κίτρινα του χρωμίου και κίτρινα του καδμίου, το κίτρινο του ψευδαργύρου, το κίτρινο του κοβαλτίου, το κίτρινο του στροντίου, το κίτρινο του βαρίου, το κίτρινο του ασβεστίου, το ινδικό κίτρινο και το κίτρινο της Καμπότζης. Στις αποχρώσεις του πράσινου εντοπίζονται οι πράσινες γαιώδεις χρωστικές, το πράσινο του *Scheele*, το πράσινο των Παρισίων (*emerald green*), το πράσινο *Brunswick*, το τριοξειδίο και διένυδρο τριοξειδίο του χρωμίου (*viridian green*) και το πράσινο του κοβαλτίου (πράσινο του *Rinmann*). Στις αποχρώσεις του κυανού εντοπίζονται ο συνθετικός αζουρίτης (*blue verditer*), μπλε ουλτραμαρίν φυσικό και συνθετικό, το πρωσικό κυανό, το κυανό του κοβαλτίου και το φυσικό και συνθετικό ινδικό. Στις καστανές αποχρώσεις εντοπίζονται οι καστανές γαιώδεις

χρωστικές (όμπρες και σιέννες) και το καστανό *Vandyke*. Τα λευκά που βρίσκονταν σε χρήση περιλάμβαναν κυρίως ανθρακικό ασβέστιο, λευκό του μολύβδου, λευκό του ψευδαργύρου, θειικό βάριο και λιθοπόνιο. Τέλος η βασική μαύρη χρωστική ουσία εξακολουθεί να είναι το μαύρο του άνθρακα.

Συνήθεις χρωστικές στη Μεταβυζαντινή τέχνη

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Το έργο «Ερμηνεία της Ζωγραφικής Τέχνης» του ιερομόναχου και αγιογράφου Διονυσίου του εκ Φουρνά (1730) αποτελεί ένα από τα λίγα εγχειρίδια περί του τρόπου της μεταβυζαντινής ζωγραφικής που έχουν επιβιώσει. Η *Ερμηνεία* εμπεριέχει οδηγίες τεχνικές αλλά και σχετικές με την εικονογραφία, και μας έχει διασώσει πολύτιμες πληροφορίες ως προς τις διαθέσιμες χρωστικές που είχαν οι μεταβυζαντινοί αγιογράφοι, αλλά και ορισμένες συνταγές παρασκευής αυτών. Το έργο έγινε ιδιαίτερα δημοφιλές, με αποτέλεσμα να έχουν σωθεί πολλαπλά αντίγραφα, ενώ τον 19^ο αι. μεταφράστηκε ώστε να κυκλοφορήσει και στην Ευρώπη. Άλλα αντίστοιχα εγχειρίδια που έχουν διασωθεί περιλαμβάνουν τον κώδικα 259 της Ιεράς Μονής Παντελεήμονος (16^{ος} αι.), τον κώδικα 61 της Ιεράς Μητρόπολης της Σάμου (1783) και την «Ερμηνεία των αγίων εικόνων της ζωγραφικής τέχνης και ιστορίας απάσης της αγίας καθολικής και αποστολικής ημών εκκλησίας» που κατείχε ο ζωγράφος Παγώνης (1803). Η μελέτη αυτών των κειμένων, συνδυαστικά με την εφαρμογή φυσικοχημικών μεθόδων διάγνωσης στη ζωγραφική επιφάνεια μεταβυζαντινών εικόνων, μας έχει δώσει τη δυνατότητα να αποσαφηνίσουμε σε έναν ικανοποιητικό βαθμό τις χρωστικές που έχουν, ως επί το πλείστον, χρησιμοποιηθεί στη μεταβυζαντινή ζωγραφική. Στην παρούσα ενότητα θα παρατεθούν αυτές οι χρωστικές, όπως προκύπτουν από φυσικοχημικές μελέτες²⁸ των τελευταίων χρόνων (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 6) (Καπετανίδης 2019, Mastrotheodoros and Beltsios 2022).

²⁸ Χρυσουλάκης και Μπάρλας 1982, Μιλάνου 1987, Αλεξοπούλου-Αγορανού *et al* 1997, Δρανδακη *et al* 2000, Daniilia *et al* 2002, Burgio *et al* 2003, Daniilia *et al* 2004, Karapanagiotis *et al* 2009, Sotiropoulou and Daniilia 2010, Karapanagiotis *et al* 2013, Stratis *et al* 2014, Μαστροθεόδωρος 2016, Mastrotheodoros *et al* 2020, Merkaj and Civici 2020, Mastrotheodoros *et al* 2021. Στο παράρτημα παρατίθενται και αναλυτικά οι χρωστικές που αναφέρονται σε κάθε μία από τις μελέτες (βλ. Πίνακας 6).

Η διερεύνηση των κόκκινων τόνων έχει υποδείξει πως η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη χρωστική ήταν η κιννάβαρη –φυσική και συνθετική (βερμιγιόν)–, ενώ σε μεγάλο βαθμό συναντώνται επίσης οι κόκκινες γαιώδεις χρωστικές, κόκκινες λάκες (ριζάρι, καρμίνια ²⁹ , αιματόξυλο) και μίνιο (ιδιαίτερα τον 19^ο αι.). Αναφορικά με τις λάκες, πρόκειται για στοιχείο της ευρωπαϊκής ζωγραφικής, το οποίο εικάζεται ότι εισήγαγε στη μεταβυζαντινή τέχνη η Κρητική Σχολή. Οι κόκκινες λάκες έχουν εντοπιστεί σε χρήση στα κατώτερα ζωγραφικά στρώματα, αναμεμιγμένες με λευκό του μολύβδου και συχνά μαζί με ινδικό ή αζουρίτη, ώστε να επιτευχθούν αποχρώσεις ρόδινης, πορτοκαλοκόκκινες και ιώδεις. Επίσης, πολύ συχνά εφαρμόζονταν με μεγάλη απόθεση υλικού επάνω από τα τελευταία χρωματικά στρώματα, ως ερυθρές ημιδιαφανείς λαζούρες, που προσέδιδαν λάμψη και βάθος στο υποκείμενο χρώμα.

Ως προς τις κίτρινες χρωστικές, πιο δημοφιλείς φαίνεται να ήταν οι κίτρινες γαιώδεις χρωστικές, η κίτρινη σανδαράχη και αργότερα το κίτρινο του χρωμίου (19^ο αι.). Σπανίως –και μάλλον ως ένδειξη βενετικής επιρροής– εντοπίζεται η χρήση κίτρινου του μολύβδου-κασσιτέρου (τύπος I & II), κίτρινου του αντιμονίου (κίτρινο της Νάπολης, 18^ο με 19^ο αι.) και κίτρινου του μολύβδου-κασσιτέρου-αντιμονίου, όπως και μασσικοτ και *pararealgar*³⁰.

Ως προς τις κυανές χρωστικές, το ινδικό φαίνεται να ήταν αυτό που χρησιμοποιούνταν σε μεγαλύτερο βαθμό, και ακολουθούν ο αζουρίτης (ως τον 18^ο αι.), το πρωσικό κυανό (18^ο και 19^ο αι.), συνθετικές χαλκούχες χρωστικές (πιο εκτεταμένα τον 18^ο αι.) και σμάλτο. Στους πρώιμους μεταβυζαντινούς χρόνους εκτεταμένη φαίνεται να ήταν και η χρήση του φυσικού μπλε ουλτραμαρίν, ενώ σε επιζωγραφίσεις του 19^{ου} αι. έχει εντοπιστεί κυανό του κοβαλτίου.

Όσον αφορά τις πράσινες χρωστικές που έχουν εντοπιστεί, πιο ευρεία φαίνεται να ήταν η χρήση πράσινων γαιών³¹ (ως και τον 18^ο αι.), μίξεων κυανών με κίτρινες χρωστικές (συχνά μίγματα ινδικού με κίτρινη σανδαράχη ή πρωσικού κυανού με κίτρινο μολύβδου-κασσιτέρου) και ακολούθως συνθετικών χαλκούχων χρωστικών (*verdigris*, ρητίνες χαλκού, κυρίως 17^ο-18^ο αι.), μαλαχίτη (ως και τον 18^ο αι.), πράσινου του *Scheele* (τέλη 18^{ου} με αρχές 19^{ου} αι.), πράσινου των

²⁹ Τουλάχιστον όσον αφορά την Κρητική Σχολή, φαίνεται πως η καρμίνια μέχρι και τον 15^ο αι. κατασκευαζόταν από τον τοπικό κέρμη, ενώ από τον 16^ο αι. και μετά εντοπίζεται ως επί το πλείστον καρμίνια από κοχενύλη (Karapanagiotis *et al* 2013).

³⁰ Ο όρος *pararealgar* αναφέρεται σε ένα κίτρινο προϊόν φωτοδιάβρωσης της κόκκινης σανδαράχης, με την οποία έχει και την ίδια χημική σύσταση. Δεν είναι πάντα εύκολο να προσδιοριστεί αν έχει εφαρμοστεί εκούσια ως χρωστική ή αν η χρωστική που χρησιμοποιήθηκε ήταν κόκκινη σανδαράχη, η οποία σταδιακά αλλοιώθηκε υπό την επίδραση της ακτινοβολίας (Burgio *et al* 2003, Μαστροθεόδωρος 2016).

³¹ Η εκτεταμένη χρήση από τους μεταβυζαντινούς ζωγράφους του ινδικού, των μιγμάτων ινδικού με κίτρινη σανδαράχη και των πράσινων γαιών αποτελεί στοιχείο διαφοροποίησής τους από τη σύγχρονη ευρωπαϊκή ζωγραφική. Κατά πάσα πιθανότητα ο λόγος για αυτό έγκειται στο ότι όλες οι προαναφερθείσες ύλες συμπεριφέρονται ικανοποιητικά αναμεμιγμένες με υδατικούς φορείς (βλ. αυγό), όχι όμως και με ελαιώδη συνδετικά υλικά (Mastrotheodoros *et al* 2020).

Παρισίων (*emerald green*, 19^{ος} αι.) και διένυδρου τριοξειδίου του χρωμίου (*viridian green*, 19^{ος} αι.). Τεχνητές χρωστικές όπως το *verdigris* και οι ρητίνες χαλκού εφαρμόζονταν συχνά σε ελαιώδη συνδετικά μέσα ως λαζούρες. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως σε αρκετές περιπτώσεις εικόνων δεν έχει εντοπιστεί η χρήση καμίας κυανής χρωστικής και σε άλλες καμίας πράσινης.

Στις καστανές χρωστικές περιλαμβάνονταν οι σιέννες και οι όμπρες. Η χρήση των καστανών γαιωδών χρωστικών ήταν περιορισμένη. Για την απόδοση ιωδών τόνων έχει εντοπιστεί η χρωστική *caput mortuum*.

Οι λευκές ύλες περιλάμβαναν κυρίως λευκό του μολύβδου, και δευτερευόντως σε ορισμένες περιπτώσεις ανθρακικό ασβέστιο (λευκό της κιμωλίας), θειικό ασβέστιο (γύψο) και λευκό του βαρίου (19^{ος} αι.). Τέλος, για τις μαύρες περιοχές έχει εντοπιστεί μαύρο του άνθρακα.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν αρκετά συνοπτικά οι βασικές αρχές των πειραματικών μεθόδων που εφαρμόστηκαν στα αντικείμενα, και οι οποίες κρίνονται απαραίτητες για την κατανόηση του πειραματικού μέρους. Παρακάτω, στην ενότητα «Μέθοδοι και Υλικά», παρατίθενται πιο αναλυτικά οι διατάξεις που αξιοποιήθηκαν εν προκειμένω για την κάθε τεχνική. Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν την υπεριώδη φωτογραφία φθορισμού, την φθορισμομετρία ακτίνων X και την πολυφασματική απεικόνιση, στα πλαίσια της οποίας λήφθηκαν ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης στο ορατό και το υπέρυθρο, έγχρωμες απεικονίσεις στο ορατό και έγχρωμες υπέρυθρες απεικονίσεις. Όλες οι προαναφερθείσες πρακτικές ανήκουν –τουλάχιστον όπως διενεργήθηκαν στην παρούσα πτυχιακή– στην κατηγορία των μη καταστρεπτικών/επεμβατικών φυσικοχημικών διαγνωστικών μεθόδων. Επί του πρακτέου αυτό σημαίνει πως δεν λήφθηκε κάποιο δείγμα, αλλά ούτε και πραγματοποιήθηκε κάποιου άλλου είδους παρέμβαση στις υπό εξέταση φορητές εικόνες προκειμένου να εξαχθούν τα επιθυμητά πορίσματα.

2.1 Υπεριώδης Φωτογραφία Φθορισμού /

Ultraviolet Induced Visible Fluorescence (UVIVF)

Η υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού αποτελεί μια μη καταστρεπτική τεχνική ανάλυσης των υλικών κατασκευής των έργων τέχνης, κατά την οποία φωτογραφίζεται ο φθορισμός που εκπέμπεται στο φάσμα του ορατού όταν μία επιφάνεια ακτινοβολείται και διεγείρεται από υπεριώδη ακτινοβολία. Καθώς η διαπερατότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι μικρή (βλ. εικόνα 10), η εν λόγω μέθοδος δύναται να παρέχει πληροφορίες για τα πιο επιφανειακά στρώματα του εκάστοτε εξεταζόμενου αντικειμένου. Στην προκειμένη περίπτωση, όπου το ενδιαφέρον μας εστιάζεται σε φορητές εικόνες, το κυρίως στρώμα που ακτινοβολείται είναι το επικαλυπτικό υλικό, και στην περίπτωση που αυτό έχει απομακρυνθεί ή δεν έχει μεγάλο πάχος, η υπεριώδης ακτινοβολία φτάνει και διεγείρει (και) το ζωγραφικό στρώμα. Για την ακρίβεια, η συγκεκριμένη μέθοδος, συνδυαστικά με τις άλλες φωτογραφικές μεθόδους, μπορεί να δώσει καθοριστικές

πληροφορίες για την ταύτιση των χρωστικών, καθώς ο φθορισμός τους είναι χαρακτηριστικός της σύστασής τους. Φυσικά μέσω της υπεριώδους φωτογραφίας φθορισμού μπορούν επίσης να προσδιοριστούν η ύπαρξη και το είδος επικαλυπτικού υλικού, τυχόν επιζωγραφίσεις και άλλες επιφανειακές παρεμβάσεις, να διερευνηθούν παλαιότερες εργασίες συντήρησης, να αποσαφηνιστούν πιθανές υπογραφές κ.α (Αλεξοπούλου-Αγοράνου, Χρυσουλάκης 1993).

Όπως προαναφέρθηκε, η υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού λειτουργεί με την ακτινοβολία της εξεταζόμενης επιφάνειας με υπεριώδη ακτινοβολία. Συγκεκριμένα, τις περισσότερες φορές πρόκειται για την περιοχή του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που περιλαμβάνει το υπεριώδες μεγάλο μήκους κύματος (UVA, 315-400 nm) και ενίοτε ένα μέρος του μέσου υπεριώδους (UVB, 280-315 nm). Κατά την ακτινοβολία της ύλης, ένα μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας απορροφάται, προκαλώντας σε κάποια μόρια παροδικές μεταπηδήσεις ηλεκτρονίων σε υψηλότερη ενεργειακή στοιβάδα. Αυτά τα διεγερμένα μόρια επιστρέφουν άμεσα στη σταθερή τους κατάσταση με το να αποβάλλουν την πλεονάζουσα ηλεκτρονιακή ενέργεια, μετατρέποντάς την σε άλλη μορφή ενέργειας. Στην περίπτωση που εξετάζεται εδώ, η ενέργεια αυτή αποβάλλεται με τη μορφή ακτινοβολίας, πάντοτε μεγαλύτερου μήκους κύματος λ και μικρότερης ενέργειας E από την ακτινοβολία που απορροφήθηκε. Αυτός είναι ο λόγος που ο προκαλούμενος φθορισμός γίνεται αντιληπτός μέσα στο φάσμα του ορατού. Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως ο φθορισμός μιας χημικής ένωσης εκπέμπεται πάντα στο ίδιο μήκος κύματος, καθώς εξαρτάται από τη μοριακή σύσταση και το σχήμα μιας ουσίας και όχι από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που απορροφήθηκε. Επομένως, ο φθορισμός είναι χαρακτηριστικός της εκάστοτε χημικής ένωσης. Η αποδιέγερση με τη μορφή φθορισμού είναι περισσότερο συνήθης σε οργανικές ενώσεις και χημικά σύμπλοκα μετάλλων και λιγότερο σε ανόργανες ενώσεις. Η υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού ενδείκνυται να αξιοποιείται συνδυαστικά και με άλλες φυσικοχημικές μεθόδους, καθώς ο φθορισμός μιας περιοχής μπορεί να επηρεάζεται από πολλούς αστάθμητους παράγοντες, όπως λ.χ. τον φθορισμό από πιθανές προσμίξεις ή από τα συνδετικά υλικά των χρωστικών (de la Rie 1982, Αλεξοπούλου-Αγοράνου, Χρυσουλάκης 1993, Mairinger 2000, Pelagotti *et al* 2005).

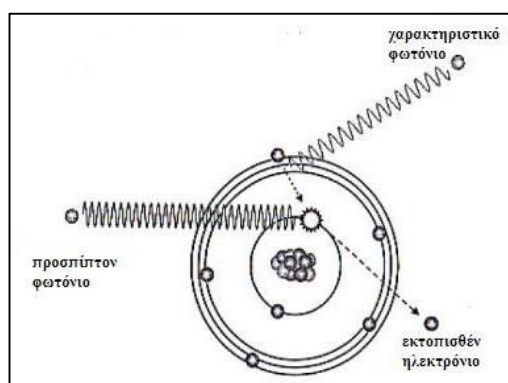
Μία τυπική διάταξη υπεριώδους φωτογραφίας φθορισμού περιλαμβάνει κάμερα (αναλογική ή ψηφιακή) τοποθετημένη κάθετα ως προς το εξεταζόμενο αντικείμενο, απέναντι ή επάνω από αυτό, έναν ή περισσότερους λαμπτήρες υδραργύρου ή μαύρου φωτός (*black light*) εκατέρωθεν και στο ίδιο ύψος και απόσταση με την κάμερα, σε γωνία 45° από το αντικείμενο, και τέλος φίλτρα αποκοπής της ανακλώμενης υπεριώδους ακτινοβολίας (λ.χ. KODAK WRATTEN 28, 24, 2E, 3, 4, 8, 9, 12, 15). Η διαδικασία πρέπει να λαμβάνει χώρα σε απόλυτο σκοτάδι, ώστε να επιτευχθεί ορθή καταγραφή του φθορισμού (Αλεξοπούλου-Αγοράνου, Χρυσουλάκης 1993, Pelagotti *et al* 2005, Αλεξοπούλου 2014 α).

2.2 Φθορισμομετρία Ακτίνων X / X-Ray Fluorescence (XRF)

Πρόκειται για μέθοδο φασματομετρική, η οποία μετρά ιδιότητες που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ύλη. Η υψηλή διακριτική ικανότητα και ο προσδιορισμός πολλών χημικών στοιχείων αποτελούν τα κυριότερα πλεονεκτήματά της. Μέσω της ανάλυσης με φασματομετρία μικροφθορισμού ακτίνων X θα επιχειρηθεί η ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των χρωστικών που έχουν χρησιμοποιηθεί στα έργα προς εξέταση, με βάση την στοιχειακή ατομική δομή των πρώτων. Αυτό καθίσταται δυνατό λόγω της μεγάλης διεισδυτικής ικανότητας που έχουν οι ακτίνες X, οι οποίες με άλλες μεθόδους (λ.χ. ακτινογράφιση) δύναται να διαπεράσουν τη ζωγραφική επιφάνεια αλλά και τον φορέα (βλ. εικόνα 10). Στην περίπτωση της διάταξης του XRF που μας ενδιαφέρει επί του παρόντος, οι ακτίνες X μπορούν να διεισδύσουν μέχρι και στο στρώμα της προετοιμασίας. Η XRF δύναται να εφαρμοστεί είτε ως καταστροφική είτε ως μη καταστροφική τεχνική. Στην παρούσα εργασία θα ισχύσει η δεύτερη περίπτωση, θα πραγματοποιηθεί δηλαδή στοιχειακή ανάλυση της ζωγραφικής επιφάνειας των εικόνων με ημιφορητή συσκευή, χωρίς την απόσπαση δείγματος. Η μέθοδος που θα εφαρμοστεί δεν απαιτεί ιδιαίτερη προετοιμασία του αντικειμένου, και επιτρέπει την ανίχνευση όλων των στοιχείων εκτός από αυτά με μικρό ατομικό αριθμό (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Κουή *et al* 2016).

Ο μη καταστρεπτικός μικροφθορισμός ακτίνων X επιτυγχάνεται με την ακτινοβόληση ενός αρκετά εστιασμένου σημείου του αντικειμένου με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία X, το μήκος κύματος της οποίας είναι της τάξης μεγέθους των ατομικών διαστάσεων ή των ενδοατομικών αποστάσεων. Αυτό σημαίνει πως κάθε φωτόνιο X έχει ενέργεια συγκρίσιμη με αυτή του δεσμού των ηλεκτρονίων που βρίσκονται στις –εσωτερικές πάντα– στοιβάδες των μέσων και βαρέων μετάλλων. Όταν ένα στοιχείο ακτινοβολείται από δέσμη ακτίνων X, αυτές απορροφούνται. Τα άτομα που τις απορροφούν ιονίζονται, και εκτοπίζεται ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια εσωτερικής στοιβάδας (K ή L). Κατά συνέπεια, το άτομο βρίσκεται σε μια κατάσταση αστάθειας, και προκειμένου να μεταπέσει στη θεμελιώδη κατάσταση ισορροπίας του, μεταπηδά ένα ηλεκτρόνιο εξωτερικής, ενεργειακά υψηλότερης στοιβάδας στην κενή θέση του ηλεκτρονίου που εκτοπίστηκε. Η εσωτερική στοιβάδα έχει μικρότερη δυναμική ενέργεια από την εξωτερική, και ως εκ τούτου η μεταπήδηση του ηλεκτρονίου συνοδεύεται από την εκπομπή της περίσσειας ενέργειας σε μορφή φωτονίου X. Η δευτερεύουσα αυτή ακτινοβολία ονομάζεται ακτινοβολία φθορισμού X, και η ενέργειά της είναι μικρότερη από την ενέργεια του αρχικού φωτονίου X που ακτινοβόλησε το άτομο. Παράλληλα, η ενέργεια αυτή είναι χαρακτηριστική της μεταπήδησης ενός ηλεκτρονίου από μία καθορισμένη στοιβάδα σε μια άλλη καθορισμένη στοιβάδα για κάθε

στοιχείο. Το μήκος κύματος δηλαδή του φθορισμού και η ενέργεια της ακτινοβολίας είναι χαρακτηριστικά του υπό διέγερση ατόμου³², επομένως τα φωτόνια X που ακτινοβολούνται από το δείγμα προς εξέταση καθιστούν δυνατό τον ποιοτικό χαρακτηρισμό του στοιχείου. Το φάσμα ακτινοβολίας που προκύπτει από την παραπάνω διαδικασία είναι γραμμικό, γιατί οι ηλεκτρονικές στοιβάδες κατέχουν διακεκριμένα ποσά ενέργειας. Σχετίζεται μόνο με τις ενεργειακές στάθμες των εσωτερικών τροχιακών, είναι δηλαδή ανεξάρτητο από τη φυσική κατάσταση και τους χημικούς δεσμούς. Η ένταση του φθορισμού εξαρτάται από την ποσότητα που βρίσκεται το στοιχείο στην ύλη που ακτινοβολείται, επιτρέποντας (υπό συνθηκές) ως εκ τούτου και ποσοτικό χαρακτηρισμό. Βέβαια η φθορισμομετρία ακτίνων X είναι μέθοδος αναφοράς, απαιτούνται γνωστά πρότυπα για ποσοτικά αποτελέσματα σε άγνωστα δείγματα (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Κουή *et al* 2016, Wirth, Barth 2020).



Εικόνα 9: Διαδικασία διέγερσης και αποδιέγερσης ατόμου.
Πηγή: Διασκευασμένο από Brouwer 2003.

Όπως προαναφέρθηκε, τα ηλεκτρόνια που εκτοπίζονται από τις ακτίνες X ανήκουν στις εσωτερικές στοιβάδες, δηλαδή τις K και L. Όταν η συμπλήρωση της κενής θέσης γίνεται από ηλεκτρόνια της αμέσως επόμενης στοιβάδας, οι φασματικές γραμμές παίρνουν τον δείκτη α , ενώ όταν γίνεται από ηλεκτρόνια της μεθεπόμενης στάθμης, παίρνουν το δείκτη β κ.ο.κ. Για παράδειγμα το $K\alpha$ υποδηλώνει πως η κενή θέση της στοιβάδας K συμπληρώθηκε από ηλεκτρόνιο της L, ενώ στην περίπτωση $K\beta$ από ηλεκτρόνιο της στοιβάδας M. Ως επί το πλείστον, όταν διαβάζουμε το φάσμα για να ταυτοποιήσουμε τα στοιχεία που εντοπίζονται, εστιάζουμε αφενός στις πιο έντονες γραμμές του φάσματος και αφετέρου στις πιο πιθανές ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις, οι οποίες είναι πρωτίστως $K\alpha$, και δευτερευόντως $L\alpha/L\beta$. Οι K γραμμές είναι πιο βοηθητικές στην ταυτοποίηση στοιχείων με χαμηλό ατομικό αριθμό (στοιχεία με $11 < Z < 23$ παράγουν μόνο τη σειρά K των ακτίνων), ενώ οι L γραμμές είναι πιο βοηθητικές στην ταυτοποίηση στοιχείων με υψηλό ατομικό αριθμό ($Z > 45$). Ταυτόχρονα, η διαφορά ενεργειών μεταξύ των ενεργειακών σταθμών K και L είναι μεγαλύτερη από τη διαφορά ενεργειών μεταξύ των στιβάδων L και M. Έτσι οι γραμμές

³² Για την ακρίβεια, η σχέση μεταξύ της ενέργειας της χαρακτηριστικής δευτερεύουσας ακτινοβολίας E και του ατομικού αριθμού Z από το άτομο που εκπέμπεται είναι $E = C_1(Z-C_2)^2$, όπου τα C_1, C_2 είναι σταθερές εξαρτώμενες από τις στιβάδες των ηλεκτρονίων (Κουή *et al* 2016).

Κ εμφανίζονται σε μικρότερα μήκη κύματος, ενώ οι γραμμές L σε μεγαλύτερα (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Wirth, Barth 2020).

Μια τυπική οργανολογία της φασματομετρίας μικροφθορισμού ακτίνων X περιλαμβάνει μία πηγή διέγερσης³³ όπου παράγονται οι ακτίνες X, φίλτρα περιορισμού της ακτινοβολίας, τριχοειδείς σωλήνες για τη συγκέντρωσή της σε μικρότερη δέσμη, ανιχνευτή³⁴ του αριθμού παλμών και της ενέργειας της εκπεμπόμενης από το δείγμα ακτινοβολίας και σύστημα επεξεργασίας και ανάγνωσης των φασμάτων. Γενικά, για τα στοιχεία με μεγάλο ατομικό αριθμό η τάση ρυθμίζεται στα 35-40 kV, ενώ η ένταση του ρεύματος στα 1-40 mA για την άνοδο ροδίου. Για τα στοιχεία με μικρό ατομικό αριθμό, τα δεδομένα συλλέγονται με απομάκρυνση των φίλτρων και χαμηλές τιμές δυναμικού (λ.χ. 15 kV). Τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν μπορεί να είναι είτε διασποράς μήκους κύματος, είτε διασποράς ενέργειας. Στην πρώτη περίπτωση, η ανάλυση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας γίνεται με βάση το μήκος κύματος με τη βοήθεια κρυστάλλου (μονοχρωμάτορα) με βάση την εξίσωση του *Bragg*. Στη δεύτερη περίπτωση (EDXRF) οι εκπεμπόμενες από το δείγμα ακτίνες διακρίνονται με βάση τη διαφορετική τους ενέργεια σε διαφορετικά κανάλια, ενώ δεν απαιτείται μονοχρωμάτορας. Πρακτικά η έξοδος του ανιχνευτή ενισχύεται και στέλνεται σε έναν πολυκαναλικό αναλυτή (MCA), που αποδίδει γραφικά τον αριθμό μετρήσεων στον άξονα y σε σχέση με τον αριθμό των καναλιών. Οι ηλεκτρικοί παλμοί του ανιχνευτή μεταφράζονται σε counts ανά second (CPS) (Κουή *et al* 2016).

Αναφορικά με την ανίχνευση χρωστικών, η XRF βρίσκει κάποιους περιορισμούς. Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατή η διάκριση υλικών με παραπλήσια στοιχειακή σύσταση ή διαφορετική κρυσταλλική δομή. Επίσης τα ασθενή στοιχεία ανιχνεύονται δύσκολα, ή αποτυπώνονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Το γεγονός ωστόσο πως αποτελεί μια μέθοδο μη καταστρεπτική, οικονομική, αρκετά γρήγορη και χωρίς ιδιαίτερη απαιτούμενη προετοιμασία του δείγματος την τοποθετεί σε πλεονεκτική θέση σε σχέση με άλλες μεθόδους. Ταυτόχρονα

³³ Η παραγωγή των ακτίνων X, ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με μήκος κύματος περίπου 0.005-10nm, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ραδιενεργών ισοτόπων, διατάξεων σύγχροτρου και λυχνίας παραγωγής. Στην τελευταία περίπτωση οι ακτίνες X παράγονται με τον βομβαρδισμό ενός μεταλλικού στόχου (αντικάθοδος ή άνοδος) από επιταχυνόμενη δέσμη ηλεκτρονίων στο κενό, με τη βοήθεια διαφοράς δυναμικού μερικών δεκάδων ως και εκατοντάδων χιλιάδων Volts. Αυτό έχει ως επακόλουθο την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας X, η οποία εκπέμπεται από τον σωλήνα διέγερσης στο αντικείμενο, συγχρόνως και ανεξάρτητα σε φάσμα συνεχές και σε ένα φάσμα γραμμών. Ενώ η κατανομή του πρώτου εξαρτάται αποκλειστικά από την επιβαλλόμενη διαφορά δυναμικού, τα μήκη κύματος των γραμμών είναι χαρακτηριστικά των στοιχείων της αντικαθόδου (λ.χ. ρόδιο) (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Κουή *et al* 2016).

³⁴ Ο ανιχνευτής μετατρέπει τις ακτίνες X που εκπέμπονται από το δείγμα σε ηλεκτρονικά σήματα, από τα οποία προσδιορίζεται η ενέργεια και ένταση (Κουή *et al* 2016).

αποδεικνύεται εξαιρετικά χρήσιμη, γιατί εντοπίζει τα κυρίαρχα στοιχεία σε χρωστικές που μπορεί να είναι χαρακτηριστικό στοιχείο συγκεκριμένων ιστορικών περιόδων (Κουή *et al* 2016).

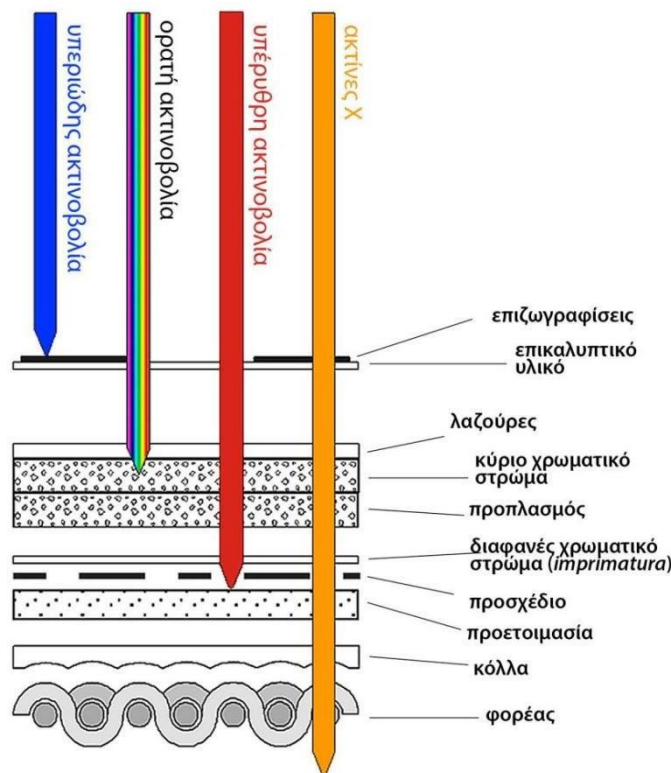
2.3 Πολυφασματική Απεικόνιση / Multispectral Imaging (MSI):

- Ασπρόμαυρη απεικόνιση ανάκλασης σε ορατό & υπέρυθρο
- Έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό
- Έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση

Όταν κάνουμε λόγο για πολυφασματική ή υπερφασματική απεικόνιση, αναφερόμαστε στην εξέταση ενός αντικειμένου με ένα σύστημα απεικόνισης που μπορεί να παρέχει πληροφορίες σε οποιοδήποτε σημείο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από το υπεριώδες μεγάλο μήκους κύματος (315–400 nm) και το ορατό (380-760 nm), μέχρι το κοντινό υπέρυθρο (760-1400 nm) και ορισμένες φορές το υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος (1400-3000 nm). Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι πως επιτρέπει να εφαρμοστούν σχεδόν όλες οι γνωστές μη καταστρεπτικές φωτογραφικές μέθοδοι διάγνωσης ακριβώς στα ίδια σημεία του αντικειμένου και με τη χρήση μίας μόνο διάταξης. Τα συστήματα πολυφασματικής και υπερφασματικής απεικόνισης έχουν καταστεί τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερα δημοφιλή ως τεχνικές χαρτογράφησης και ταυτοποίησης χρωστικών, καθώς αποτελούν μία μη καταστρεπτική τεχνική της οποίας η διάταξη είναι απλή, σχετικά οικονομική και κυρίως φορητή. Η μέθοδος είναι αρκετά αξιόπιστη στην εξέταση καθαρών χρωστικών ουσιών, όταν όμως πρόκειται για μίγματα αυτών και λαζούρες, ενδεχομένως να μην μπορεί να προκύψει ασφαλής ταύτιση. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα της πολυφασματικής απεικόνισης αποφέρουν σωστότερες πληροφορίες όταν διερευνώνται σε συνδυασμό και με άλλες διαγνωστικές μεθόδους, καταστρεπτικές ή μη (Cosentino 2015).

Σε πρακτικό επίπεδο, η πολυφασματική απεικόνιση μας δίνει τη δυνατότητα να καταγράψουμε την οπτική εικόνα του εξεταζόμενου έργου χρησιμοποιώντας διαφορετικές και σαφώς καθορισμένες στενές περιοχές μηκών κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, οι οποίες αποκαλούνται φασματικές ζώνες (*spectral bands*). Οι περιοχές αυτές, αναλόγως με το τι επιζητούμε κάθε φορά, μπορούν να εκτείνονται από το υπεριώδες μεγάλο μήκους κύματος (315–400 nm) και το ορατό (380-760 nm), μέχρι το κοντινό υπέρυθρο (760-1400 nm) και το υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος (1400-3000 nm). Σε αυτά τα τμήματα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχουμε τη δυνατότητα να λάβουμε ποικίλων ειδών απεικονίσεις, ανάλογα με το πως ρυθμίζουμε την προσπίπτουσα ακτινοβολία στο αντικείμενο και την ακτινοβολία που φθάνει στον ανιχνευτή. Για τις συγκεκριμένες περιοχές που απασχολούν την πολυφασματική απεικόνιση, είναι δόκιμο να διατυπώσουμε την αρχή πως όσο αυξάνεται το μήκος

κύματος, αυξάνεται και η διεισδυτική ικανότητα της ακτινοβολίας³⁵. Επομένως, οι απεικονίσεις στο υπεριώδες είναι χρήσιμες για τη διερεύνηση των επικαλυπτικών υλικών και τυχόν επιφανειακών επεμβάσεων, στο ορατό φάσμα για την εξέταση του κυρίως χρωματικού στρώματος και στην περιοχή του υπέρυθρου για τα κατώτερα χρωματικά στρώματα και πιθανά προσχέδια (Αλεξοπούλου 2014 β, Alexoroulou and Kaminari 2014, Cosentino 2015).



Εικόνα 10: Διαφοροποίηση της διεισδυτικής ικανότητας ανάμεσα στην υπεριώδη, ορατή, υπέρυθρη ακτινοβολία και τις ακτίνες X.
 Πηγή: Διασκευασμένο από Schreiner *et al* 2017.

Μια τυπική διάταξη για την λήψη πολυφασματικών/υπερφασματικών³⁶ απεικονίσεων περιλαμβάνει δύο φωτιστικές πηγές εκατέρωθεν του αντικειμένου προς εξέταση, έναν ανιχνευτή-κάμερα προσαρμοσμένο σε H/Y σε συνδυασμό με το απαιτούμενο λογισμικό, και ένα σύστημα

³⁵ Όπως έγινε σαφές στην προηγούμενη ενότητα, οι ακτίνες X παρουσιάζουν διεισδυτική ικανότητα μεγαλύτερη από αυτή της υπέρυθρης ακτινοβολίας, αν και το μήκος κύματός τους είναι μικρότερο από αυτό της υπέρυθρης (βλ. παράρτημα, εικόνα 75). Σύμφωνα με το νόμο του *Rayleigh*, ακτινοβολίες με μικρότερο μήκος κύματος (λ) έχουν και μικρότερη διεισδυτική ικανότητα. Ωστόσο, ο νόμος αυτός αφορά τις ακτινοβολίες που έχουν διάδραση με σωματίδια (υπεριώδη, ορατή, υπέρυθρη). Οι ακτίνες X παρουσιάζουν μεγαλύτερη διεισδυτικότητα, λόγω του ότι η διάδρασή τους πραγματοποιείται σε μοριακό επίπεδο.

³⁶ Η διαφορά των διατάξεων πολυφασματικής και υπερφασματικής απεικόνισης έγκειται στον αριθμό των απεικονίσεων που είναι δυνατόν να ληφθούν. Τα πολυφασματικά συστήματα μπορούν να πάρουν λιγότερες από 12 απεικονίσεις, ενώ ο αριθμός που μπορεί να ληφθεί από υπερφασματικά συστήματα είναι πολύ μεγαλύτερος. Για την ακρίβεια, οι υπερφασματικοί ανιχνευτές είναι εξοπλισμένοι με ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενα φίλτρα (λ.χ. υγροί κρύσταλλοι LCTF και ακουστικο/οπτικά ρυθμιζόμενα φίλτρα AOTF), το επιτρέπει τη λήψη εκατοντάδων φασματικών απεικονίσεων (Cosentino 2015).

φιλτραρίσματος ή διασποράς. Όπως γίνεται αντιληπτό, προκειμένου να αξιοποιηθούν όλες οι μέθοδοι που προαναφέρθηκαν, απαιτείται η δυνατότητα ακτινοβολίας του αντικείμενου σε πολλές διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Για να φτάσει λοιπόν στο αντικείμενο η επιθυμητή ακτινοβολία, είτε τοποθετούνται φωτιστικές πηγές συγκεκριμένου μήκους κύματος, είτε τοποθετούνται μπροστά στις διαθέσιμες φωτιστικές πηγές φίλτρα διέγερσης. Προκειμένου να φθάσουν στον ανιχνευτή οι επιθυμητές για την εκάστοτε απεικόνιση ακτινοβολίες, είτε τοποθετούνται στον φακό είτε συμπεριλαμβάνονται στην κατασκευή του συστήματος πολυ-/υπερφασματικής απεικόνισης φίλτρα αποκοπής. Τα φίλτρα αποκοπής αποτελούν το πιο σημαντικό στοιχείο, καθώς ουσιαστικά η παρουσία τους καθιστά την όλη διάταξη πολυφασματική ή υπερφασματική. Οι πιο συνήθεις κατηγορίες περιλαμβάνουν οπτικά φίλτρα, ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενα φίλτρα (LCTF, AOTF) και πρίσματα (PGP). Το αποδεκτό κάθε φορά φασματικό εύρος του εκάστοτε φίλτρου έχει να κάνει με την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που εξετάζεται. Για παράδειγμα, στις κυανές και πράσινες περιοχές μπορούμε να λάβουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα με φασματικό εύρος ως και 50nm, καθώς οι περισσότερες ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις σε αυτές τις περιοχές είναι μεγάλες και μπορούν ως εκ τούτου να καταγραφούν ακόμη και με χαμηλή φασματική ανάλυση. Όσο αυξάνεται το μήκος κύματος της ακτινοβολίας υπό την οποία λαμβάνουμε φασματική απεικόνιση, τόσο περιορίζεται το αποδεκτό φασματικό εύρος των φίλτρων³⁷ (Αλεξοπούλου 2014 β, Cosentino 2015, Delaney *et al* 2016).

Ακτινοβολώντας το αντικείμενο με υπεριώδη ακτινοβολία είναι δυνατόν να λάβουμε ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης, αν στον πολυφασματικό ανιχνευτή εφαρμοστούν φίλτρα που επιτρέπουν τη διέλευση μόνο της υπεριώδους ακτινοβολίας, ή απεικόνιση του έγχρωμου ορατού φθορισμού, αν τα φίλτρα επιτρέπουν τη διέλευση του ορατού φωτός. Αντίστοιχα, κατά την ακτινοβολία του έργου με την ορατή ακτινοβολία μπορούμε να πάρουμε έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό, ή να ρυθμίσουμε τον ανιχνευτή να λαμβάνει απεικονίσεις σε προκαθορισμένες στενές φασματικές ζώνες, παρέχοντας ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης σε αυτά μόνο τα μήκη κύματος. Επίσης αν τα φίλτρα του ανιχνευτή ρυθμιστούν να επιτρέπουν τη διέλευση μόνο της υπέρυθρης ακτινοβολίας, είναι δυνατό να καταγραφεί ο φθορισμός στο υπέρυθρο που προκαλείται από διέγερση με ορατή ακτινοβολία. Όπως και με την ορατή ακτινοβολία, κατά την ακτινοβολία του αντικείμενου με –κοντινό συνήθως– υπέρυθρο είναι δυνατό να λάβουμε πολλαπλές ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης σε συγκεκριμένα μήκη

³⁷ Παράδειγμα 12 φίλτρων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη λήψη φασματικών απεικονίσεων από το ορατό ως το κοντινό υπέρυθρο (κεντρικό μήκος κύματος / φασματικό εύρος φίλτρου σε nm): 425/50, 475/50, 532/16, 578/10, 620/10, 669/10, 680/10, 717/10, 740/10, 750/10, 780/20, 800/10 (Cosentino 2015).

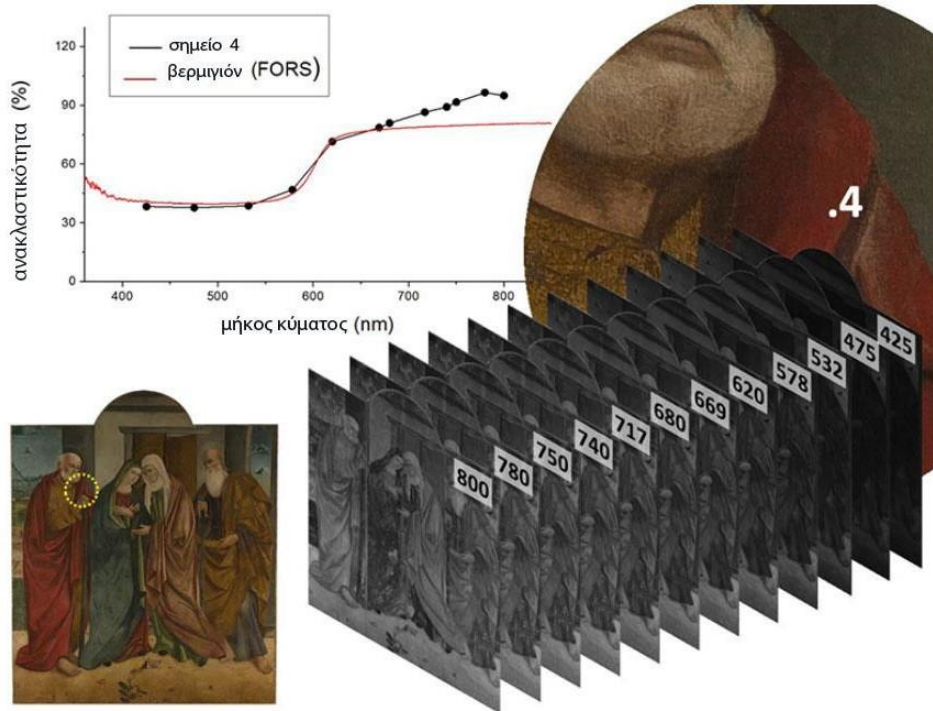
κύματος. Σε περίπτωση που ο εξοπλισμός και οι συνθήκες επιτρέπουν την ακτινοβολία του αντικειμένου με υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος, πέρα από τις παραπάνω δυνατότητες, μπορεί επιπλέον να ληφθεί και απεικόνιση υπέρυθρης ανακλαστογραφίας (IRRef)³⁸. Τέλος, αν το αντικείμενο ακτινοβοληθεί με συνδυασμό ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας και ο ανιχνευτής δεχθεί μόνο την πράσινη, κόκκινη και υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, μπορούμε να πάρουμε έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση (FCIR), στην οποία βλέπουμε λανθασμένα χρώματα προκειμένου να μπορέσουμε να “δούμε” το υπέρυθρο ως χρώμα. Εκτός από τις προαναφερθείσες τεχνικές, η δυνατότητα των συστημάτων πολυφασματικής απεικόνισης να λαμβάνουν μεγάλο αριθμό απεικονίσεων ανάκλασης σε καθορισμένα μήκη κύματος επιτρέπει επίσης τη λήψη φασματικού κύβου και φασμάτων ανακλαστικότητας³⁹ (Αλεξοπούλου 2014 β, Cosentino 2015) (εικόνα 11).

Όσον αφορά τις υπερφασματικές απεικονίσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής, αυτές περιλάμβαναν ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης σε καθορισμένες φασματικές ζώνες στο ορατό και το κοντινό υπέρυθρο, έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό που προκύπτει από τον ηλεκτρονικό αυτόματο συνδυασμό τριών λήψεων στα κανάλια R-G-B και, τέλος, έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση με λανθασμένα χρώματα, η οποία προκύπτει από τον ηλεκτρονικό αυτόματο συνδυασμό τριών λήψεων, στο υπέρυθρο και τα κανάλια R-G. Η έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό λαμβάνεται περισσότερο ως σημείο αναφοράς συγκριτικά με τις άλλες φασματικές απεικονίσεις, και λιγότερο ως αντιπροσωπευτική αναπαραγωγή του έργου. Η σύνθεση της έγχρωμης εικόνας από την ανάκλαση της επιφάνειας στα τρία βασικά χρώματα –

³⁸ Η υπέρυθρη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος είναι πιο διεισδυτική από το κοντινό υπέρυθρο, και είναι αρκετές οι χρωστικές που αποκτούν διαφάνεια σε αυτά τα μεγαλύτερα μήκη κύματος. Επομένως, πέρα από τη χρησιμότητά της στην ταυτοποίηση χρωστικών, η υπέρυθρη ανακλαστογραφία παρέχει πολύ πιο ικανοποιητικές πληροφορίες ως προς τα υποκείμενα χρωματικά στρώματα, τα τυχόν προσχέδια, τη σταδιακή εξέλιξη της σύνθεσης, τις μεθόδους ζωγραφικής αλλά και πιθανές μεταγενέστερες επεμβάσεις (Sotiropoulou and Daniilia 2010, Schreiner *et al* 2017).

³⁹ Όταν κάνουμε λόγο για *φασματικό κύβο*, αναφερόμαστε σε έναν αριθμό φασματικών απεικονίσεων ληφθέντων σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, παρατεταγμένων τριδιάστατα και οριζοντίως κατά αύξουσα σειρά μήκους κύματος. Σε αυτόν τον εικονικό κύβο που σχηματίζεται, οι άξονες x και y προσδιορίζουν κάποιο σημείο, ίδιο σε όλες τις απεικονίσεις, ενώ ο άξονας z αποτελεί το φάσμα ανακλαστικότητας του εκάστοτε σημείου. Ένα τέτοιο φάσμα καταγράφει την ανακλαστικότητα (%) της περιοχής προς εξέταση σε κάθε ένα από τα διάφορα μήκη κύματος. Με τον όρο *ανακλαστικότητα* εννοούμε τον λόγο της έντασης της ακτινοβολίας που ανακλάται από το αντικείμενο προς την ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό. Τα φάσματα ανακλαστικότητας στις διάφορες περιοχές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορούν να μας δώσουν χρήσιμες πληροφορίες για την ταυτοποίηση των χρωστικών ενός έργου, καθώς η ακτινοβολία που δεν ανακλάται είτε απορροφάται είτε διαπερνά την επιφάνεια προς εξέταση, και η συμπεριφορά αυτή εξαρτάται άμεσα από τη χημική σύσταση του εκάστοτε υλικού. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό ανακλαστικότητας (όπως και ο φθορισμός) των υλικών στην περιοχή του υπεριώδους και του ορατού έχει να κάνει με τις διάφορες ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις, ενώ στην περιοχή του κοντινού υπέρυθρου με τις μεταβολές στη δόνηση των μορίων (υπέρτονες ταινίες και ταινίες συνδυασμού). Ως εκ τούτου, η σύγκριση πρότυπων φασμάτων ανακλαστικότητας καθαρών χρωστικών με φάσματα που έχουμε λάβει από κάποιο έργο προς εξέταση μπορεί να κριθεί ιδιαίτερα βοηθητική (Cosentino 2015, Delaney *et al* 2016).

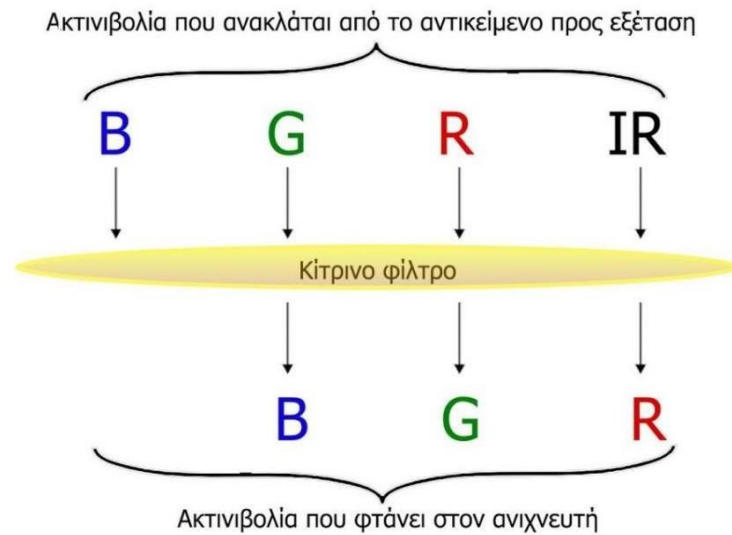
μπλε (460nm), πράσινο (560nm) και κόκκινο (800nm)– δημιουργεί συχνά προβλήματα κατά την εστίαση στα τρία μήκη κύματος και μειωμένο οπτικό αποτέλεσμα στην χρωματική απόδοση, επομένως μία συμβατική DSLR κάμερα συνήθως αναπαράγει πιο πιστά τα χρώματα (Αλεξοπούλου 2014 β).



Εικόνα 11: Παράδειγμα λήψης φασματικού κύβου και φάσματος ανακλαστικότητας. Οι 12 φασματικές απεικονίσεις βρίσκονται παρατεταγμένες σε φασματικό κύβο, όπου οι άξονες x και y προσδιορίζουν κάποιο σημείο της απεικόνισης, ενώ ο άξονας z αποδίδει το ποσοστό ανακλαστικότητας του εκάστοτε σημείου στην κάθε φασματική απεικόνιση. Εδώ, στο φάσμα που έχει προκύψει από τα ποσοστά ανακλαστικότητας της κόκκινης χρωστικής (σημείο 4) στις 12 απεικονίσεις αντιπαρατίθεται ένα πρότυπο γράφημα ανακλαστικότητας % της χρωστικής βερμιγιόν στα αντίστοιχα μήκη κύματος. Πηγή: Διασκευασμένο από Cosentino 2015.

Οι απεικονίσεις ανάκλασης που λήφθηκαν στο ορατό και το υπέρυθρο είναι ασπρόμαυρες, με τους πιο λευκούς τόνους να αποτυπώνουν την ανάκλαση και τους πιο σκούρους την απορρόφηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Θα αξιοποιηθούν κυρίως ως βοηθητικό στοιχείο συνδυαστικά με τις άλλες διαγνωστικές μεθόδους, χωρίς τη λήψη φασματικού κύβου και φασμάτων ανακλαστικότητας. Τέλος, κατά την έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση με λανθασμένα χρώματα λαμβάνονται έγχρωμες εικόνες που καταγράφονται με τη βοήθεια μέρους του ορατού φάσματος σε συνδυασμό με μη ορατές ακτινοβολίες της υπέρυθρης περιοχής. Ουσιαστικά στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση βλέπουμε προσθετικά τα λανθασμένα χρώματα μπλε, πράσινο και κόκκινο, τα οποία μιμούνται τις τρεις φασματικές ζώνες του ορατού (R,G,B) (εικόνα 12). Στην πραγματικότητα, από τις τρεις φασματικές ζώνες του προσπίπτοντος ορατού το μπλε δεν αντιστοιχίζεται πουθενά, γιατί τα φίλτρα το αποκόπτουν, το πράσινο αντιστοιχίζεται στο μπλε

λανθασμένο χρώμα και το κόκκινο αντιστοιχίζεται στο πράσινο, ενώ η φασματική ζώνη του κοντινού υπέρυθρου αντιστοιχίζεται στο κόκκινο λανθασμένο χρώμα. Πραγματοποιείται δηλαδή μία μετατόπιση στον υπέρυθρο ανιχνευτή, προκειμένου να “δούμε” την υπέρυθρη ακτινοβολία (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Αλεξοπούλου 2014 β).



Εικόνα 12: Ο τρόπος που προκύπτουν τα λανθασμένα χρώματα κατά την έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Τα αντικείμενα προς εξέταση

Για τους σκοπούς του πειραματικού μέρους επιλέχθηκαν τρεις φορητές εικόνες, κατασκευασμένες μέσα στα χρονολογικά πλαίσια από τα μέσα του 19^{ου} ως τα τέλη του 19^{ου} με αρχές του 20^{ου} αι. Και στα τέσσερα έργα εικονίζεται ο Άγιος Γεώργιος ο Δρακοκτόνος. Ο λόγος που επιλέχθηκαν αντικείμενα με κοινό θέμα ήταν πως τα εικονογραφικά χαρακτηριστικά στη βυζαντινή –και μεταβυζαντινή– τέχνη είναι αυστηρά προσδιορισμένα και, στις πλείστες των περιπτώσεων, ακολουθούνταν με συνέπεια. Καθίσταται επομένως δυνατή η αντιπαραβολή των διάφορων χρωστικών που μπορεί να έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόδοση των ίδιων στοιχείων, λ.χ. των ενδυμάτων, του δράκου κ.λ.π. Προς αποφυγή συγχύσεως, οι εικόνες θα αναφέρονται στο εξής ως αντικείμενο Α, Β και Γ.

Εικονογραφικά στοιχεία

Όπως προαναφέρθηκε, και στις τέσσερις υπό εξέταση φορητές εικόνες εικονίζεται ο Άγιος Γεώργιος στον εικονογραφικό τύπο του Δρακοκτόνου. Ο εν λόγω τρόπος απεικόνισης αποτελεί προέκταση του τύπου του αγίου ως στρατιωτικού. Το επεισόδιο της δρακοκτονίας ξεκινάμε να το εντοπίζουμε ως μέρος της βιογραφίας του Αγίου Γεωργίου κατά τον 11^ο αι., και έκτοτε ο εικονογραφικός τύπος του «ήρωα ιπέα» απαντάται όλο και συχνότερα.

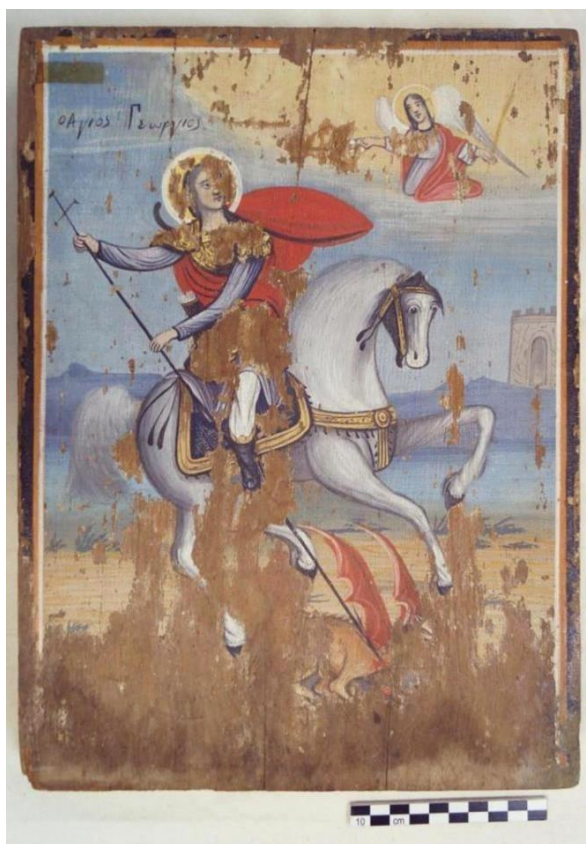
Σύμφωνα με την ελληνική θρησκευτική παράδοση, η δρακοκτονία αποτελεί ένα από τα θαύματα που επιτέλεσε ο Άγιος Γεώργιος, και τοποθετείται στην πόλη Αλαγία της Αττάλειας. Εκεί, σε μια λίμνη ή πηγή βρισκόταν ένας δράκος, ο οποίος δεν άφηνε κανέναν να πλησιάσει το νερό αν δεν δεχόταν μια ανθρωποθυσία για αντάλλαγμα. Κάποια στιγμή ο κλήρος έπεσε στη βασιλοπούλα και μοναδική κόρη του βασιλιά να θυσιαστεί στο δράκο. Ωστόσο, πριν προλάβει να

κάνει την εμφάνισή του ο δράκος, έτυχε να περνά από εκεί ο Άγιος Γεώργιος, ο οποίος θανάτωσε το θηρίο και έσωσε τη βασιλοπούλα, καθώς οι κάτοικοι παρακολουθούσαν από τις επάλξεις της πόλης. Συχνά ο δράκος παραλληλίζεται με την ειδωλολατρεία, καθώς η θανάτωσή του είχε ως αποτέλεσμα τη μεταστροφή του βασιλιά, της βασιλοπούλας και ολόκληρης της πόλης στον χριστιανισμό.

Το παραπάνω επεισόδιο, όταν απεικονίζεται, αποτυπώνεται με ορισμένα χαρακτηριστικά εικονογραφικά στοιχεία. Ο Άγιος Γεώργιος αποτυπώνεται πάνοπλος, επιβαίνων σε λευκό ίππο και φέρων δόρυ, με το οποίο κατατροπώνει τον δράκοντα που κείται στο έδαφος, ενώ συχνά εικονίζεται και η βασιλοπούλα. Άλλα στοιχεία που μπορεί να υπάρχουν στη σύνθεση είναι ένας μικρός σκλάβος καθισμένος στο άλογο πίσω από τον άγιο, αρχιτεκτονικά μέλη στο βάθος που υπονοούν την πόλη, ο βασιλιάς και οι κάτοικοι της πόλης. Η σκηνή της δρακοκτονίας φαίνεται να εδραιώθηκε στη βυζαντινή τέχνη κατά τους όψιμους Παλαιολόγειους χρόνους, και σταδιακά κατέστη εξαιρετικά δημοφιλής, φτάνοντας στους νεότερους χρόνους να αποτελεί την πιο συνήθη απεικόνιση του Αγίου Γεωργίου (Θεοχάρη 2007, Καζαμία-Τσέρνου 2015).

Αντικείμενο Α

Το αντικείμενο Α μάλλον είναι κατασκευασμένο στο β' μισό του 19^{ου} αι. (εικόνα 13) και προέρχεται από τη νότια Εύβοια. Στο κέντρο της σύνθεσης εικονίζεται ο Άγιος Γεώργιος, επάνω σε λευκό ίππο. Ο άγιος φέρει πανοπλία, δόρυ, τόξο και βέλη. Τα ενδύματά του έχουν αποδοθεί με κυανό-ιώδες και λευκό χρώμα, ενώ η κάπα του έχει μια έντονη κόκκινη απόχρωση. Στην πάνω δεξιά γωνία εικονίζεται ένας άγγελος, ενώ κάτω δεξιά κείται ο δράκοντας. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος που έχει επιλέξει ο αγιογράφος να αποδώσει τον χώρο στον οποίο εκτυλίσσεται η σκηνή. Συγκριτικά με τον παραδοσιακό τρόπο των μεταβυζαντινών εικόνων, έχουμε στην προκειμένη μια αρκετά πιο φυσιοκρατική προσέγγιση. Στη θέση του τυπικού χρυσού, κυανού ή καστανού κάμπου και των εξαιρετικά σχηματοποιημένων στοιχείων του χώρου, εδώ εικονίζονται, με προσπάθεια προοπτικής απόδοσης, έδαφος με φυτά, στο οποίο κείται ο δράκος, πίσω από αυτό λίμνη και όρη, και πίσω από αυτά ένα αρχιτεκτονικό στοιχείο που παραπέμπει σε τείχη. Διαφορετικό στοιχείο αποτελεί και η απόδοση του δράκου με ανοιχτό καστανοκόκκινο χρώμα αντί για πράσινο.



Εικόνα 13: Η κύρια όψη της Εικόνας Α.

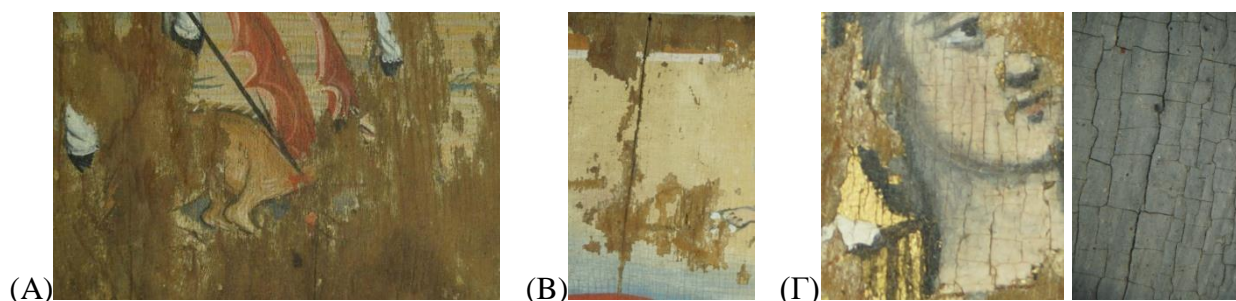
Τεχνολογία κατασκευής

Η εικόνα έχει ζωγραφιστεί επάνω σε ξύλινο υποστήριγμα, το οποίο είναι αυτόξυλο. Στο επάνω τμήμα της οπίσθιας όψης υπάρχει καρφωτό οριζόντιο τρέσο, ενώ κρίνοντας από την χρωματική διαφορά, παλαιότερα υπήρχε ένα ακόμη και στο κάτω τμήμα. Εξετάζοντας την κύρια όψη, διαπιστώθηκε πως πάνω από το υποστήριγμα έχει εφαρμοστεί ένα λεπτό στρώμα λευκής προετοιμασίας. Ακολουθεί το ζωγραφικό στρώμα. Η ζωγραφική έχει κατά πάσα πιθανότητα κατασκευαστεί με την τεχνική της αυγοτέμπερας. Ενδιαφέρον παρουσιάζει πως φαίνεται να έχει χρησιμοποιηθεί διαφορετική παλέτα χρωστικών από τις άλλες δύο εικόνες προς εξέταση. Τέλος, η εικόνα Α έφερε οξειδωμένο επικαλυπτικό υλικό, όπως φαίνεται από τον μάρτυρα που είχε αφηθεί επάνω αριστερά στη σύνθεση, μετά τις εργασίες καθαρισμού (βλ. παρακάτω).

Στην περιοχή του φωτοστέφανου, του θώρακα και της πανοπλίας εντοπίζεται χρύσωμα. Κατά τη στερεοσκοπική εξέταση διαπιστώθηκε πως κάτω από την επιχρυσωμένη περιοχή του φωτοστέφανου υπάρχει ένα σκούρο κόκκινο στρώμα (πιθανώς αμπόλι, ή ίσως απλώς ένα κόκκινο χρωματικό υποκείμενο στρώμα), και πως το πρόσωπο του αγίου είναι ζωγραφισμένο επάνω στη χρυσή επιφάνεια. Το φωτοστέφανο φέρει περιφερειακά στικτή διακόσμηση και λευκό περίβλημα.

Κατάσταση διατήρησης

Η κατάσταση διατήρησης του αντικειμένου Α είναι μέτρια, οπωσδήποτε λιγότερο καλή από τις άλλες δύο εικόνες. Ολόκληρο το χρωματικό στρώμα διατρέχεται από βαθιές ρωγμές, από μικρότερου βάθους δίκτυα ρωγματώσεων και από διάφορων μεγεθών εκδορές (εικόνα 14). Παράλληλα, εντοπίζονται εκτεταμένες απώλειες στη ζωγραφική επιφάνεια και το υπόστρωμα, σε μεγαλύτερο βαθμό στο κάτω τμήμα της κύριας όψης. Για την ακρίβεια, το κατώτατο τμήμα της σύνθεσης λείπει σχεδόν όλο. Σε διάφορα σημεία, κατά κύριο λόγο στην πίσω όψη, υπάρχουν οπές διάφορων μεγεθών, πιθανότατα προκληθείσες από τη δράση εντόμων.



Εικόνα 14: Δείγματα φθορών της Εικόνας Α: (Α) απώλειες προετοιμασίας και ζωγραφικής επιφάνειας, (Β) απώλειες και βαθιά ρωγμή, (Γ) απώλειες και δίκτυα ρωγματώσεων του ζωγραφικού στρώματος.

Είναι σαφές πως η εικόνα είχε δεχθεί στο παρελθόν επεμβάσεις συντήρησης. Το αρκετά οξειδωμένο επικαλυπτικό υλικό έχει αφαιρεθεί και έχει αφηθεί μικρός μάρτυρας, στην πάνω αριστερά γωνία του έργου (εικόνα 15). Τόσο μακροσκοπικά αλλά κυρίως στερεοσκοπικά καθίσταται σαφές πως όλη η ζωγραφική επιφάνεια έχει δεχθεί στερεώσεις, και ενδεχομένως να έχει εφαρμοστεί λεπτό στρώμα νέου επικαλυπτικού υλικού με μικρή στιλπνότητα.



Εικόνα 15: Ο μάρτυρας του οξειδωμένου επικαλυπτικού υλικού που έχει αφηθεί στην πάνω αριστερά γωνία του αντικειμένου Α.

Αντικείμενο Β

Το αντικείμενο Β αποτελεί φορητή εικόνα τοποθετημένη στα τέλη του 19^{ου} αι. (εικόνα 16). Η προέλευσή της είναι από την Αττική, αν και ο τόπος κατασκευής είναι άγνωστος. Κύρια μορφή



Εικόνα 16: Η κύρια όψη της Εικόνας Β.

της εικόνας είναι ο Άγιος Γεώργιος, πάνοπλος και έφιππος σε λευκό ίππο. Κρατά δόρυ, με το οποίο επιτίθεται στον δράκοντα, ο οποίος είναι ζωγραφισμένος στο κατώτερο τμήμα της σύνθεσης. Τα ενδύματά του αγίου έχουν αποδοθεί με κυανό και κόκκινο χρώμα, όπως κόκκινη είναι και η κάπα. Ο δράκοντας είναι πράσινος με κόκκινα φτερά. Στην κάτω δεξιά γωνία της σύνθεσης εικονίζεται μια γυναικεία μορφή που φέρει στέμμα, και η οποία ταυτίζεται με τη βασιλοπούλα που διασώζεται από τον δράκο. Ο χώρος όπου εκτυλίσσεται η σκηνή περιλαμβάνει στο πρώτο επίπεδο το έδαφος, όπου βρίσκονται η βασιλοπούλα και ο δράκος, λίγο πιο πίσω μια πρασινοκίτρινη ζώνη, που δεν αποκλείεται να παραπέμπει σε υγρό στοιχείο, πιο πίσω και δεξιά ένα αρχιτεκτονικό στοιχείο που παραπέμπει σε τείχη και στο βάθος τον καστανό κάμπο. Αν και η σύνθεση παρουσιάζει κάποιες ομοιότητες με την Εικόνα Α, εν τούτοις στην προκειμένη βρισκόμαστε πολύ πιο κοντά στην αφαιρετική σχηματοποίηση του βυζαντινού τρόπου.

Τεχνολογία κατασκευής

Η εικόνα έχει ζωγραφιστεί επάνω σε ξύλινο υποστήριγμα, το οποίο είναι αυτόξυλο. Στην πάνω πλευρά της πίσω όψης βρίσκεται καρφωμένο ένα μεταλλικό, κυκλικό στοιχείο ανάρτησης. Ως προς την κύρια όψη, διαπιστώνεται πως πριν τη ζωγραφική έχει εφαρμοστεί ένα στρώμα προετοιμασίας. Το υπόστρωμα αυτό φάνηκε πως έχει σχετικά μεγάλο πάχος, είναι απορροφητικό και έχει λευκό χρώμα (εικόνα 17). Η ζωγραφική έχει κατά πάσα πιθανότητα εκτελεστεί με την τεχνική της αυγοτέμπερας. Τέλος, η κυρίως όψη του αντικειμένου φέρει μετρίου πάχους επικαλυπτικό υλικό.

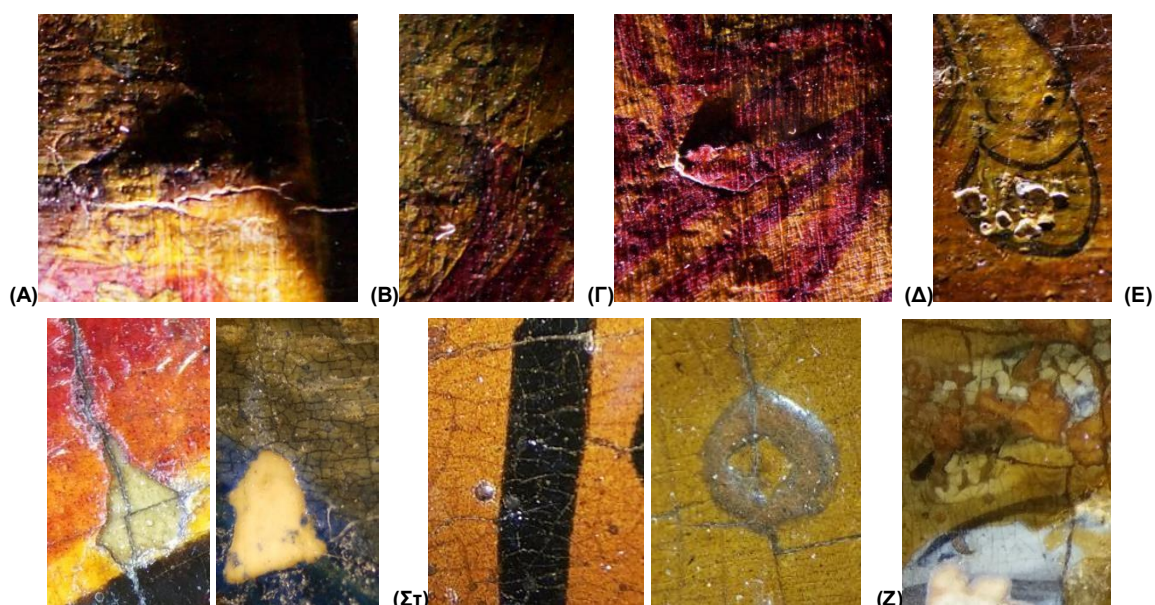


Εικόνα 17: Το λευκό απορροφητικό υπόστρωμα της Εικόνας Β, όπως φαίνεται στην περιοχή απώλειας στην αριστερή ακμή του αντικειμένου.

Κατάσταση διατήρησης

Όσον αφορά τον ξύλινο φορέα, σε διάφορα σημεία έχουν προκληθεί βαθιές ρωγμές, που εκτείνονται μέχρι τη ζωγραφική επιφάνεια (εικόνα 18). Αναφορικά με το υπόστρωμα της ζωγραφικής, μέσω της μακροσκοπικής και κυρίως της στερεοσκοπικής εξέτασης έγινε σαφές πως έχει προκληθεί δίκτυο ρωγματώσεων, το οποίο ακολουθεί και το χρωματικό στρώμα. Η ζωγραφική επιφάνεια παρουσιάζει κατά τόπους μικρές απώλειες και διαφόρων μεγεθών και

διατομών οπές, κάποιες από τις οποίες εκτείνονται μέχρι και τον ξύλινο φορέα. Επίσης σε διάφορα σημεία εντοπίστηκαν κατά την στερεοσκοπική εξέταση μικρά αποσπασμένα τμήματα ζωγραφικής, ενδεχομένως και της προετοιμασίας. Το στρώμα του επικαλυπτικού υλικού παρουσιάζει μέτρια κατάσταση διατήρησης. Είναι οξειδωμένο σε κάποιο βαθμό, έχοντας αποκτήσει μια κίτρινη απόχρωση, και φέρει ξεχωριστό δίκτυο ρωγματώσεων και πολλές εκδορές. Φαίνεται μάλλον να σχηματίζει κρούστα, παρά να είναι κολλώδες. Σε πολλά σημεία η πρόσφυση του επικαλυπτικού υλικού στο ζωγραφικό στρώμα είναι πολύ χαλαρή, με αποτέλεσμα να αποσπάται ως απολέπιση με την παραμικρή μηχανική καταπόνηση. Κατά πάσα πιθανότητα στα πλαίσια κάποιας μεταγενέστερης επέμβασης εφαρμόστηκε νεότερο επικαλυπτικό υλικό επάνω στο αρχικό βερνίκι, καθώς επάνω σε πολλές απώλειες εντοπίζεται στιλπνή επιφάνεια και παρασυρμένοι κόκκοι χρωστικής.



Εικόνα 18: Φθορές της Εικόνας Β: (Α) Βαθιά ρωγή, (Β) εκδορές, (Γ) αποσπασμένο τμήμα ζωγραφικής επιφάνειας και ίσως προετοιμασίας, (Δ) οπές με βάθος που εκτείνεται στον ξύλινο φορέα, (Ε) απώλειες ζωγραφικής επιφάνειας, (ΣΤ) οπές διαφορετικού βάθους και δίκτυα ρωγματώσεων του ζωγραφικού στρώματος, (Ζ) οξείδωση επικαλυπτικού υλικού.

Αντικείμενο Γ

Το αντικείμενο Γ αποτελεί φορητή εικόνα τοποθετημένη στα τελευταία χρόνια του 19^{ου} ή στις αρχές του 20^{ου} αι. (εικόνα 19). Η προέλευσή της είναι από την Αττική, όπου κατά πάσα πιθανότητα ήταν και ο τόπος κατασκευής της. Η συγκεκριμένη εικόνα έχει πιο απλή σύνθεση συγκριτικά με τις προηγούμενες, και οπωσδήποτε είναι η πιο λαϊκότερη από τις τρεις. Και πάλι η κεντρική μορφή είναι ο Άγιος Γεώργιος έφιππος, με πανοπλία και δόρυ, ενώ κάτω από τον ίππο

κείται ο κατατροπωμένος δράκοντας. Τη μόνη απόδοση χώρου αποτελεί ο καστανός κάμπος και το κάπως πιο σκούρο καστανό έδαφος, χωρίς αρχιτεκτονικά ή υδάτινα στοιχεία. Τα ενδύματα του αγίου έχουν αποδοθεί με κυανό και κόκκινο χρώμα, όπως κόκκινη είναι και η κάπα. Ο δράκοντας είναι πράσινος με κόκκινα φτερά.



Εικόνα 19: Η κύρια όψη της Εικόνας Γ.

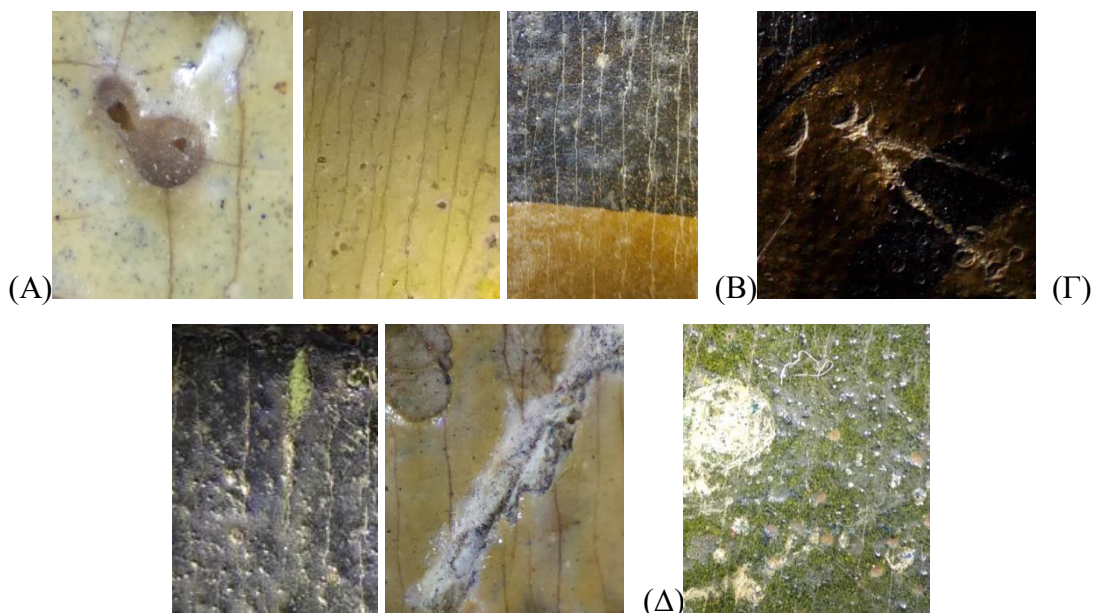
Τεχνολογία κατασκευής

Η εικόνα έχει ζωγραφιστεί επάνω σε ξύλινο υποστήριγμα, το οποίο είναι αυτόξυλο. Στην πάνω πλευρά της πίσω όψης βρίσκεται καρφωμένο ένα μεταλλικό, κυκλικό στοιχείο ανάρτησης, και κάτω από αυτό εντοπίζεται δυσανάγνωστη επιγραφή. Στην πλάγια όψη του ξύλινου φορέα διαπιστώνεται κηλίδα από το υλικό της προετοιμασίας. Από εκεί φαίνεται πως το υπόστρωμα της ζωγραφικής επιφάνειας είναι μετρίου πάχους με υπόλευκο χρώμα. Η ζωγραφική έχει μάλλον κατασκευαστεί με την τεχνική της αυγοτέμπερας. Στην περιοχή του φωτοστέφανου, του θώρακα και της σέλας του ίππου και των υποδημάτων του αγίου έχει χρησιμοποιηθεί κάποια χρυσίζουσα ύλη. Δεν φαίνεται να αποτελεί φύλλο χρυσού, καθώς δεν εντοπίστηκαν κάτω από τη ζωγραφική επιφάνεια οι ακμές του φύλλου. Πέραν αυτού, τα χρυσά σημεία επιδεικνύουν κοκκομετρία αντίστοιχη χρωστικών, και ταυτόχρονα ακολουθούν το δίκτυο ρωγματώσεων της ζωγραφικής επιφάνειας. Ως εκ τούτου, διατυπώνεται η υπόθεση πως πρόκειται είτε για χρυσό σε μορφή

κονίας⁴⁰ (χρυσογραφία), είτε για κάποιο είδος μπρουτζίνας. Τέλος, το αντικείμενο φέρει μικρού πάχους επικαλυπτικό υλικό.

Κατάσταση διατήρησης

Η μακροσκοπική και στερεοσκοπική εξέταση έδειξε πως η ζωγραφική επιφάνεια φέρει δίκτυο ρωγματώσεων, οι οποίες είναι πιο έντονες στον κάθετο άξονα (εικόνα 20). Σε όλη την κύρια όψη, με μεγαλύτερη ένταση στις λευκές και κυανές περιοχές, εντοπίζονται στο χρωματικό στρώμα και το υπόστρωμα οπές, κρατήρες και μικρές απώλειες, αλλού μικρού και αλλού μεγάλου βάθους. Επίσης, υπάρχουν διάσπαρτες πολλές λευκές επικαθίσεις, καθώς και διαφόρων μεγεθών συσσωματώματα. Το επικαλυπτικό υλικό είναι μέτρια οξειδωμένο, φέρει εκδορές και σε διάφορα σημεία εμφανίζει κυκλικές απώλειες που θα μπορούσαν ίσως να έχουν σχηματιστεί από σταγόνες υγρού σε πολύ υψηλή θερμοκρασία.



Εικόνα 20: Δείγματα φθορών της Εικόνας Γ: (Α) Οπές και δίκτυο ρωγματώσεων της ζωγραφικής επιφάνειας, (Β) εκδορές του επικαλυπτικού υλικού, (Γ) δίκτυο ρωγματώσεων και απώλειες της ζωγραφικής επιφάνειας, (Δ) λευκές επικαθίσεις και συσσωματώματα.

⁴⁰ Στα διάφορα εγχειρίδια μεταβυζαντινής ζωγραφικής που μας έχουν σωθεί από τον 17^ο αι. και εξής υπάρχουν συνταγές για τη μετατροπή φύλλων χρυσού σε κονία, ώστε να εφαρμοστεί εν είδει χρωστικής, λ.χ. στις χρυσοκονδυλίες (Καπετανίδης 2019, Mastrotheodoros and Beltsios 2022).

3.2 Μέθοδοι και Υλικά

Τα αντικείμενα με τα οποία ασχολείται η παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνήθηκαν με ποικίλες μεθόδους, με σκοπό την ταυτοποίηση των χρωστικών της ζωγραφικής επιφάνειας κάθε έργου. Οι εν λόγω εξετάσεις των τριών φορητών εικόνων πραγματοποιήθηκαν αξιοποιώντας τον διαθέσιμο εξοπλισμό στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση του κάθε αντικειμένου περιλάμβανε πέντε διαδοχικά στάδια, την μακροσκοπική παρατήρηση και φωτογραφική τεκμηρίωση, τη στερεοσκοπική εξέταση, τη διερεύνηση του φθορισμού υπό υπεριώδη ακτινοβολία, τη λήψη μετρήσεων μέσω της τεχνικής φασματομετρίας μικροφθορισμού ακτίνων Χ και τέλος τη λήψη πολυφασματικών απεικονίσεων υπό την ακτινοβολία με υπέρυθη ακτινοβολία. Όλες οι τεχνικές ήταν μη καταστρεπτικές.

Όπως προαναφέρθηκε, οι πρώτες εργασίες που πραγματοποιήθηκαν ήταν η λεπτομερής οπτική παρατήρηση, τεκμηρίωση και φωτογράφιση των αντικειμένων στο ορατό, με φωτισμό ευθύ και πλάγιο. Κάθε μία από τις εικόνες εξετάστηκε μακροσκοπικά με μεγάλη λεπτομέρεια, προκειμένου να επιτευχθεί μια πρώιμη κατανόηση της κατάστασης διατήρησης, της τεχνολογίας κατασκευής, των υλικών και των εικονογραφικών στοιχείων. Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε στερεοσκοπική εξέταση της ζωγραφικής επιφάνειας, με γνώμονα πρωτίστως τη διερεύνηση και την εξαγωγή συμπερασμάτων εστιασμένων στα ζωγραφικά στρώματα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε στερεοσκόπιο της εταιρίας ΟΡΤΙΚΑ με μεγεθυντική ικανότητα από 10 έως 45×. Όλη η διαδικασία της στερεοσκοπικής εξέτασης έχει επίσης τεκμηριωθεί φωτογραφικά.

Τη στερεοσκοπική εξέταση ακολούθησε η υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού. Συγκεκριμένα αυτό το στάδιο περιλάμβανε τη μελέτη και φωτογράφιση του φθορισμού που γίνεται αντιληπτός στο ορατό φάσμα, ως επακόλουθο της διέγερσης της ζωγραφικής επιφάνειας των εικόνων από την εκπεμπόμενη υπεριώδη ακτινοβολία. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν η φωτογραφική μηχανή Nikon D800 με φακό εστιακού μήκους 24-70 mm, φίλτρο KODAK No. 2E, το οποίο αποκόπτει την υπεριώδη και πλεονάζουσα μπλε ακτινοβολία, και δύο φωτιστικές πηγές δαπέδου με λαμπτήρες υδραργύρου που ακτινοβολούν στο υπεριώδες (Black Light Blue E27 της εταιρίας PHILIPS, 220-240V). Το κάθε αντικείμενο προς εξέταση τοποθετήθηκε σε copy-stand, όπου στερεώθηκε και η φωτογραφική μηχανή στο επιθυμητό ύψος, ώστε να περιλαμβάνεται στο κάδρο ολόκληρη η κύρια όψη κάθε εικόνας. Οι φωτιστικές πηγές τοποθετήθηκαν εκατέρωθεν του copy-stand.

Το επόμενο στάδιο στην εξέταση των εικόνων ήταν η λήψη φασμάτων μέσω της τεχνικής φθορισμομετρίας ακτίνων Χ (XRF). Τα φάσματα λήφθηκαν με τη χρήση της φορητής διάταξης XRF Tracer 5i της εταιρίας BRUKER (βλ. παράρτημα, Πίνακας 7), συσκευή που διαθέτει λυχνία ακτίνων Χ ροδίου (Rh). Η συσκευή ήταν σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας συνδεδεμένη με φορητό Η/Υ. Παράλληλα αξιοποιήθηκε το πρόγραμμα Artax της ίδιας εταιρίας, το οποίο είναι συμβατό με την προαναφερθείσα διάταξη, και μέσω του οποίου τα ληφθέντα φάσματα μπορούν να ανοιχθούν και να δεχθούν επεξεργασία σε Η/Υ. Σε κάθε μία από τις τρεις εικόνες ορίστηκαν τα σημεία από τα οποία θα λαμβάνονταν οι μετρήσεις, με πρωταρχικό γνώμονα να προκύψουν από τα φάσματα πληροφορίες για τις πλείστες δυνατές, αν όχι όλες, τις χρωστικές που έχουν χρησιμοποιηθεί σε κάθε έργο (εικόνα 21). Καθ' όλη τη διαδικασία των μετρήσεων με τη συσκευή, τα αντικείμενα ήταν τοποθετημένα οριζοντίως σε πάγκο εργαστηρίου.



Εικόνα 21: Τα σημεία στις τρεις φορητές εικόνες που επιλέχθηκαν για τη λήψη μετρήσεων με τη φορητή διάταξη pXRF.

Πιο συγκεκριμένα, κατά την επιλογή των σημείων κάθε εικόνας έγινε προσπάθεια ώστε να ληφθούν μετρήσεις σε περιοχές με μεγάλη απόθεση όσο το δυνατόν πιο καθαρών χρωστικών, καθώς οι μίξεις χρωστικών δυσχεραίνουν τη διαδικασία ταυτοποίησης (βλ. εικόνα 21). Ταυτόχρονα, επιλέχθηκαν όσο το δυνατόν αντίστοιχα σημεία στην εικονογραφία κάθε εικόνας, ώστε να διερευνηθούν και συγκριτικά τα υλικά επιλογής κάθε καλλιτέχνη. Για κάθε σημείο που επιλέχθηκε λήφθηκαν από δύο φάσματα με διαφορετικές συνθήκες. Στις πρώτες μετρήσεις η ακτινοβολία έγινε με τη συσκευή να λειτουργεί σε τάση 20kV και ένταση ρεύματος 10μΑ, με σκοπό να εντοπιστούν τα στοιχεία μικρότερων ατομικών αριθμών. Στις δεύτερες, προκειμένου να εντοπιστούν στοιχεία μεγαλύτερων ατομικών αριθμών, η τάση αυξήθηκε σε 50kV και η ένταση

ρεύματος σε 20μΑ, ενώ χρησιμοποιήθηκε και φίλτρο Ti-Al προκειμένου να αποφευχθεί ο θόρυβος από τα πιο ελαφριά στοιχεία που θα φαίνονταν και αυτά στο φάσμα. Και στις δύο περιπτώσεις, ο χρόνος λήψης του φάσματος ήταν 10". Τα δύο φάσματα κάθε σημείου μελετήθηκαν συνδυαστικά, προκειμένου να προκύψουν ολοκληρωμένα δεδομένα που θα συνέβαλαν στον προσδιορισμό των εκάστοτε χρωστικών.

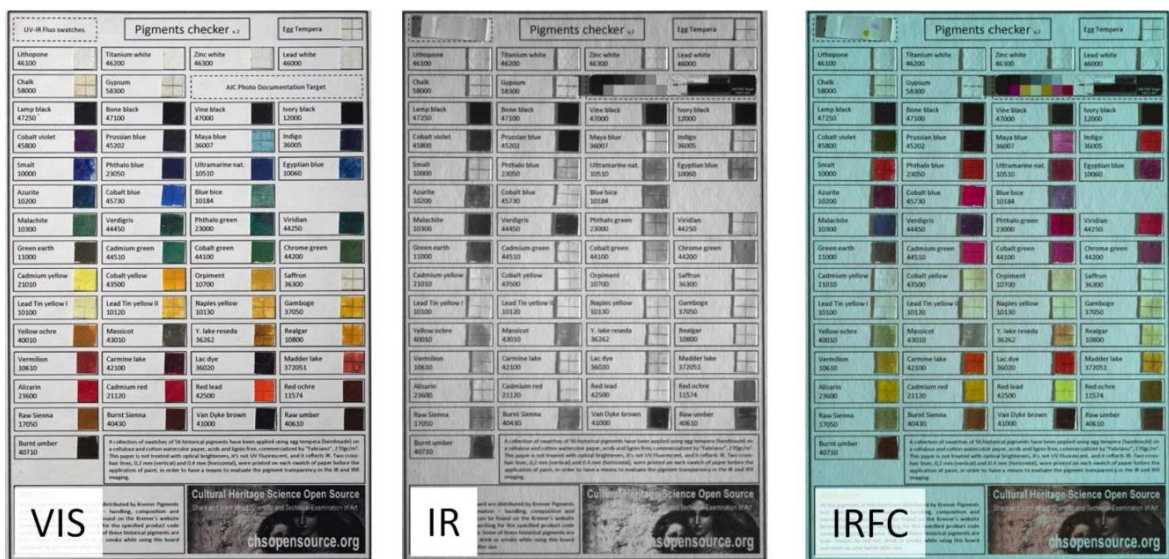
Τελευταία μη καταστρεπτική μέθοδος που εφαρμόστηκε στα αντικείμενα ήταν η λήψη πολυφασματικών απεικονίσεων στο ορατό και το υπέρυθρο. Η διάταξη που αξιοποιήθηκε αποτελούνταν από το φορητό σύστημα υπερφασματικής απεικόνισης MuSIS™ HS (ανιχνευτής CCD, φασματικό εύρος 370-1000nm, ενσωματωμένος πολυχρωμάτορας εναλλασσόμενος ανάλογα με το επιθυμητό μήκος κύματος, βλ. και παράρτημα, Πίνακας 8) και δύο φωτιστικές πηγές δαπέδου με λάμπες αλογόνου, που εκπέμπουν στο ορατό και το υπέρυθρο (εικόνα 22). Το εκάστοτε εξεταζόμενο αντικείμενο βρισκόταν τοποθετημένο οριζοντίως σε copy-stand, στο οποίο τον κάθετο άξονα στερεώθηκε στο επιθυμητό ύψος η MuSIS™ HS. Η συσκευή ήταν συνδεδεμένη με φορητό Η/Υ, όπου και λειτουργούσε το αντίστοιχο πρόγραμμα λήψης και επεξεργασίας των απεικονίσεων. Σε πρώτη φάση, μέσω αυτού του προγράμματος και με τη χρήση λευκής κάρτας (λευκή επιφάνεια BaSO₄) πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση του οργάνου βάσει της παρούσας γεωμετρίας του συστήματος και σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Αφού βαθμονομηθεί, το διάφραγμα του οργάνου παραμένει σταθερό στην τιμή που έχει οριστεί (εδώ 4), και το μόνο που προσαρμόζεται ανάλογα με την εκάστοτε λήψη είναι η εστίαση.



Εικόνα 22: Το φορητό σύστημα υπερφασματικής απεικόνισης MuSIS™ HS και η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε.

Ως προς τις μετρήσεις που λαμβάνονται, γνωρίζουμε από τον κατασκευαστή του οργάνου πως υφίστανται ορισμένα πολύ συγκεκριμένα μήκη κύματος, στα οποία μπορούμε να πάρουμε ικανοποιητικές απεικονίσεις της ανάκλασης του αντικείμενου στο ορατό και το υπέρυθρο. Από αυτά τα μήκη κύματος επιλέχθηκαν έξι στα οποία κρίθηκε σκόπιμο να ληφθούν απεικονίσεις, από τα 420nm ως τα 1000nm, καθώς έχει διαπιστωθεί πως η μετάβαση από το ένα εξ αυτών στο επόμενο παρέχει αποτελέσματα με ικανοποιητικές διαφοροποιήσεις. Συγκεκριμένα απεικονίσεις

λήφθηκαν στα 440nm, 500nm, 600nm, 700nm, 800nm και 960nm. Οι τιμές αυτές δεν ήταν απόλυτες, αναλόγως τις συνθήκες κάθε λήψης (λ.χ. αν η απεικόνιση παρουσίαζε θόρυβο) υπήρξαν μικρές αποκλίσεις. Λόγω του μεγέθους των εξεταζόμενων αντικειμένων, η ζωγραφική επιφάνεια κάθε εικόνας διαιρέθηκε σε τέσσερα νοητά τμήματα προκειμένου να ληφθούν οι απεικονίσεις. Για κάθε τεταρτημόριο των εικόνων λήφθηκαν από έξι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης στα προαναφερθέντα μήκη κύματος, δηλαδή σε περιοχές του ορατού και του κοντινού υπέρυθρου. Έπειτα για κάθε τεταρτημόριο λήφθηκαν και άλλες δύο απεικονίσεις, μία έγχρωμη στην ορατή περιοχή και μία έγχρωμη αλλά με λανθασμένα χρώματα (*false colours*) στην ορατή και υπέρυθρη περιοχή. Οι τελευταίες αυτές απεικονίσεις λαμβάνονται σε τριπλέτες RGB, για κάθε μία δηλαδή πραγματοποιούνται τρεις λήψεις, βάσει των οποίων το πρόγραμμα σχηματίζει την τελική έγχρωμη εικόνα. Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων από τα αποτελέσματα των απεικονιστικών τεχνικών αξιοποιήθηκε η σχετική βιβλιογραφία (Matteini *et al* 1978, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Mairinger 2000), καθώς και πρότυπα φθορισμού, λανθασμένων χρωμάτων και ανακλαστικότητας των ιστορικών και νέων χρωστικών από προηγούμενες μελέτες (Moon *et al* 1992, Cosentino 2014, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020, Picollo *et al* 2020, CHSOS) (εικόνα 23).



Εικόνα 23: Παράδειγμα ενός από τα πρότυπα που αξιοποιήθηκαν. Στην αριστερή εικόνα παρατίθενται διάφορες χρωστικές στο ορατό φάσμα (400-780 nm), από τη μεσαία εικόνα συνάγεται η ανάκλαση των ίδιων χρωστικών στο υπέρυθρο φάσμα (780-1100 nm) και στη δεξιά εικόνα φαίνονται τα λανθασμένα χρώματα αυτών.

Πηγή: Cosentino *et al* 2014.

3.3 Αποτελέσματα

Τα πορίσματα που προέκυψαν από το σύνολο των διαγνωστικών εξετάσεων που πραγματοποιήθηκαν στα αντικείμενα προς εξέταση αξιοποιήθηκαν συνδυαστικά. Κεντρικός άξονας ήταν οι μετρήσεις που λήφθηκαν με το pXRF, καθώς κρίθηκε βοηθητικό το ότι υπήρχαν προκαθορισμένα σημεία σε κάθε εικόνα, στα οποία μπορούσε να εστιάσει η μελέτη. Για κάθε σημείο προς εξέταση διερευνώνταν σε πρώτη φάση τα στοιχεία στα φάσματα φθορισμομετρίας ακτίνων Χ. Έπειτα η ορθότητα αυτών των πρώτων συμπερασμάτων διασταυρωνόταν και ελεγχόταν σε συνάρτηση με τις πληροφορίες που έχουν προκύψει από τις άλλες μεθόδους. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν συνολικά ανά αντικείμενο και ανά σημείο, και όχι ανά κάθε επί μέρους μέθοδο που διενεργήθηκε.

Μεγαλύτερη βάση έχει δοθεί στην επεξήγηση των φασμάτων φθορισμομετρίας ακτίνων Χ, των ασπρόμαυρων απεικονίσεων ανάκλασης και των έγχρωμων υπέρυθρων απεικονίσεων. Σε κάποιες περιπτώσεις τα πορίσματα από τις δύο τελευταίες μεθόδους έχουν παραλειφθεί, διότι κρίθηκε πως δεν συνεισφέρουν στη διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι κίτρινες χρωστικές, οι περισσότερες από τις οποίες στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση εμφανίζουν ανοιχτά κίτρινα προς λευκά λανθασμένα χρώματα, με πολύ μικρές τονικές διαφορές, και οι λευκές, οι οποίες παρουσιάζουν όλες μεγάλη ανακλαστικότητα στο ορατό και το υπέρυθρο φάσμα. Επίσης, πληροφορίες από την στερεοσκοπική παρατήρηση και την υπεριώδη φωτογραφία φθορισμού έχουν παρατεθεί μόνο στις περιπτώσεις που ήταν βοηθητικές κατά τη διαδικασία ταυτοποίησης κάποιας χρωστικής.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα από την φθορισμομετρίας ακτίνων Χ, σε όλα τα φάσματα εμφανίζεται το στοιχείο Rh, το οποίο προκύπτει από τη λυχνία ροδίου που διαθέτει η συσκευή. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, στο παράρτημα διατίθεται αναλυτικός πίνακας με το όνομα, τη χημική σύσταση και την περίοδο χρήσης κάθε χρωστικής για την οποία έχει γίνει λόγος στο παρόν κείμενο (Πίνακας 5). Όλες οι αντιστοιχίσεις των στοιχείων από τα φάσματα XRF με τις χρωστικές που ταυτοποιήθηκαν έχουν γίνει με βάση τον προαναφερθέντα πίνακα. Υπενθυμίζεται επίσης πως η μέθοδος δεν μπορεί να διακρίνει στοιχεία με ατομικό αριθμό μικρότερο του 12 (βλ. και “Θεωρητικό υπόβαθρο πειραματικών τεχνικών”). Ως εκ τούτου, οι οργανικές χρωστικές δεν μπορούν να ταυτοποιηθούν άμεσα, αλλά μπορούμε μόνο να εικάσουμε την παρουσία τους δια της εις άτοπον απαγωγής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση και οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης αποδεικνύονται εξαιρετικά χρήσιμες.

Σε κάθε φορητή εικόνα έχει ληφθεί ένα σύνολο μετρήσεων με την διάταξη του pXRF, οι οποίες έχουν σημειωθεί κατά αύξοντα αριθμό και παρατίθενται στην ενότητα “Μέθοδοι και Υλικά” (βλ. εικόνα 21). Ωστόσο, κατά την επεξεργασία των πορισμάτων διαπιστώθηκε πως οι πληροφορίες που προκύπτουν από κάποια σημεία είναι απαραίτητες για την κατανόηση άλλων, ενδεχομένως με μικρότερο αύξοντα αριθμό. Ως εκ τούτου, στην ενότητα της παρουσίασης των αποτελεσμάτων τα σημεία των μετρήσεων έχουν παρατεθεί με γνώμονα την καλύτερη σφαιρική κατανόηση του εξεταζόμενου αντικειμένου και όχι βάσει των αυξόντων αριθμών. Τέλος, στοιχεία των έργων που δεν αφορούν άμεσα τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, όπως η προετοιμασία της ζωγραφικής επιφάνειας και τα χρυσώματα (όπου υπάρχουν) έχουν εξεταστεί συνοπτικά, γίνεται αναφορά σε αυτά αλλά δεν έχουν διερευνηθεί σε βάθος και με λεπτομέρεια.

Αντικείμενο Α

Παράδειγμα ανάλυσης πορισμάτων

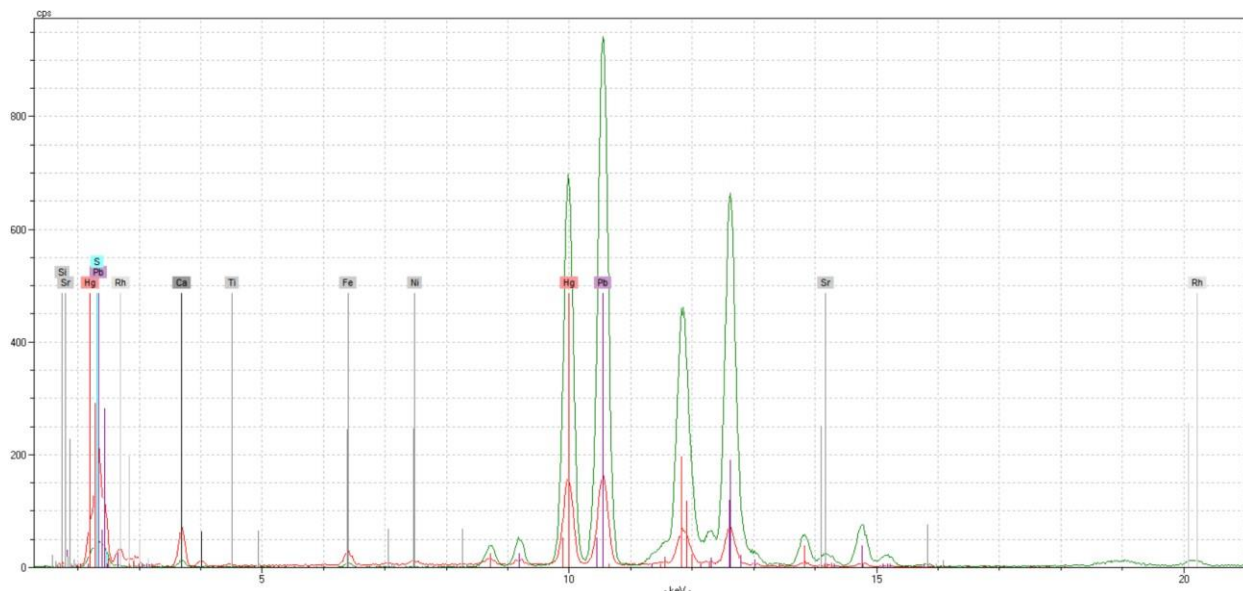
Πριν παρουσιαστούν τα συνολικά αποτελέσματα του αντικειμένου Α, κρίθηκε σκόπιμο να δοθεί ένα παράδειγμα της διαδικασίας με την οποία προέκυψαν τα πορίσματα καθενός σημείου που εξετάστηκε, και η οποία εφαρμόστηκε με τον ίδιο τρόπο και στις τρεις εικόνες. Το σημείο που επιλέχθηκε ως αναλυτικό υπόδειγμα είναι η κάπα του Αγίου Γεωργίου, η πιο χαρακτηριστική περιοχή κόκκινου χρώματος της εικόνας Α (εικόνα 24).



Εικόνα 24: Η περιοχή της κόκκινης κάπας του αγίου και το σημείο από όπου λήφθηκε η μέτρηση pXRF (σημείο8).

Τα πρώτα δεδομένα που εξετάστηκαν ήταν τα δύο φάσματα που έχουν ληφθεί στην περιοχή της κάπας με το pXRF (μέτρηση 8). Εξετάζοντας παράλληλα τα δύο φάσματα (βλ. Εικόνα 25), διαπιστώνεται πως οι επικρατέστερες κορυφές σημειώνονται στις ενέργειες 10,54 keV (942,11

cps), 9,98 keV (697,28 cps), 12,62 keV (664,63 cps), 11,86 keV (462,15 cps), 11,82 keV (459,95 cps), 2,34 keV (49,10 cps) και 3,67 keV (15,43 cps). Γνωρίζουμε από τη βιβλιογραφία (Poole 2017) πως περίπου στις ενέργειες 10,54 keV, 12,62 keV και 2,34 keV εντοπίζονται σημαντικές κορυφές του μολύβδου –συγκεκριμένα στην ενέργεια 10,555 keV καταγράφεται η ηλεκτρονιακή μετάπτωση La_1 , στην 12,618 keV η $L\beta_1$, στην 2,340 keV η Ma_2 και στην 2,345 keV η Ma_1 . Στην κορυφή που σημειώνεται στην ενέργεια 2,34 keV, πέρα από τον μολύβδο, δύναται να έχει συμπεριληφθεί και ανιχνευμένη κορυφή θείου –ηλεκτρονιακή μετάπτωση Ka_1 στην 2,308 keV.



Εικόνα 25: Τα δύο συμπληρωματικά φάσματα pXRF του σημείου 8.

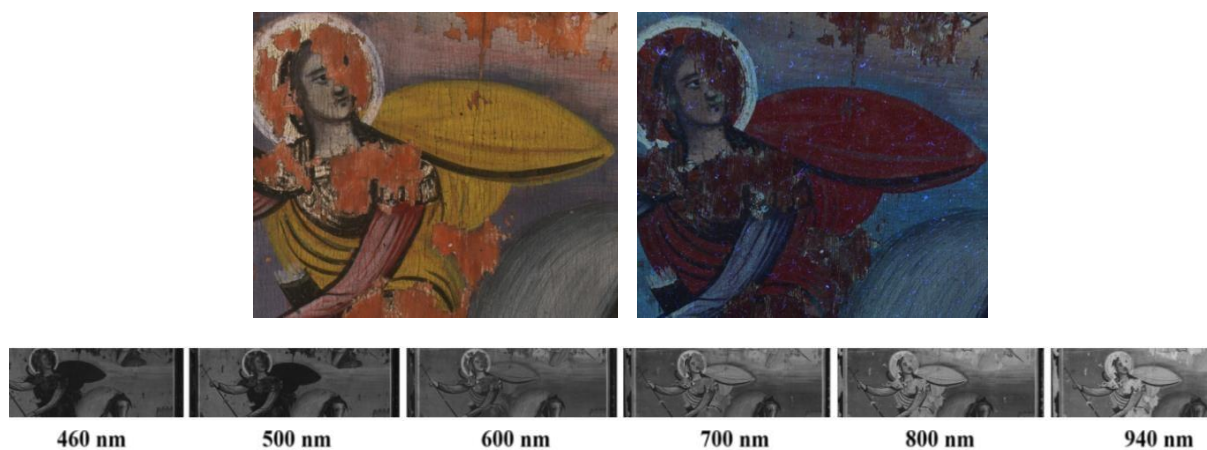
Ο μολύβδος, δεδομένου πως πρόκειται για κόκκινη περιοχή, θα μπορούσε να προέρχεται από λευκό του μολύβδου $[2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2]$ ή (και) από μίνιο (Pb_3O_4). Έχει διαπιστωθεί από άλλες μετρήσεις (βλ. παρακάτω) πως η λευκή χρωστική που έχει χρησιμοποιηθεί στην εικόνα Α είναι πράγματι λευκό του μολύβδου, επομένως σίγουρα κάποιο ποσοστό του Pb προέρχεται από εκεί.

Ως προς τις ενέργειες 9,98 keV, 11,82 keV και 11,86 keV, γνωρίζουμε πως περίπου σε αυτές εντοπίζονται σημαντικές κορυφές του υδραργύρου –συγκεκριμένα στην ενέργεια 9,999 keV καταγράφεται η ηλεκτρονιακή μετάπτωση La_1 , στην 11,823 keV η $L\beta_1$ και στην 11,927 keV η $L\beta_2$ (Poole 2017). Δεδομένου και πάλι πως πρόκειται για κόκκινη περιοχή, ο υδράργυρος, σε συνδυασμό με το πιθανότατα ανιχνευμένο θείο, παραπέμπουν σε συνθετική κιννάβαρη, *vermilion* (HgS). Η παρουσία *vermilion* καθιστά λιγότερο πιθανή την αντιστοίχιση του μολύβδου και με μίνιο, χωρίς όμως απαραίτητα να την αποκλείει.

Περίπου στην ενέργεια 3,67 keV βρίσκεται η κατεξοχήν κορυφή ασβεστίου – ηλεκτρονιακή μετάπτωση Ka_1 στην 3,692 keV και Ka_2 στην 3,688 keV. Το ασβέστιο –όπως και οι μικρές κορυφές στροντίου που εντοπίζονται στο φάσμα– κατά πάσα πιθανότητα προέρχεται

από το υλικό της προετοιμασίας (θειικό ασβέστιο και θειικό στρόντιο, βλ. και παρακάτω). Η μικρή ποσότητα σιδήρου πιθανόν επίσης να παραπέμπει σε προσμίξεις στα κοιτάσματα της γύψου (Μαστροθεόδωρος 2016). Τέλος, οι κορυφές του ροδίου δεν λαμβάνονται υπόψη, καθώς προέρχονται από τη λυχνία του οργάνου pXRF.

Από τη μελέτη λοιπόν των φασμάτων XRF προέκυψε πως η κόκκινη χρωστική που έχει χρησιμοποιηθεί στην κάπα του αγίου είναι μάλλον το *vermilion*. Με αυτό το στοιχείο ως σημείο αναφοράς, αξιοποιήθηκαν ακολούθως τα πορίσματα από τις λοιπές φυσικοχημικές μεθόδους, προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσο συνάδουν με τη συγκεκριμένη ουσία. Στην έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση η περιοχή της κάπας επιδεικνύει ένα έντονο κίτρινο λανθασμένο χρώμα, ενώ στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης διαπιστώνεται στα 600nm ραγδαία αύξηση ανακλαστικότητας, η οποία διατηρείται και στην υπέρυθη περιοχή –ουσιαστικά αυτό που βλέπουμε είναι πως μέχρι τα 500nm η κάπα είναι μαύρη, στοιχείο που υποδηλώνει απορροφητικότητα, ενώ από τα 600nm και εξής η απόχρωσή της είναι όλο και πιο ανοιχτό φαιό, και στα 940nm φαίνεται πλέον λευκή (εικόνα 26). Όλα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά συμφωνούν με την βιβλιογραφία γύρω από το *vermilion* (Matteini *et al* 1978, Moon *et al* 1992, Cosentino 2014, Cosentino *et al* 2014, Picollo *et al* 2020, Art&Maps 2020), επομένως μπορούμε να υποστηρίξουμε με μεγαλύτερη ασφάλεια τη χρήση της χρωστικής. Παράλληλα, η περιοχή της κάπας εμφανίζει βαθύ κόκκινο φθορισμό κατά την ακτινοβολή της με υπεριώδη ακτινοβολία, ιδιότητα που σε κάποιες πηγές (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Mairinger 2000) έχει επίσης αντιστοιχιστεί με την συνθετική κιννάβαρη.



Εικόνα 26: Έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση, υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού και ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης της περιοχής της κάπας.

Στην προκειμένη περίπτωση, όπως και σε μεγάλο μέρος των σημείων που εξετάστηκαν, οι πληροφορίες που λήφθηκαν από τα φάσματα XRF παρείχαν σαφείς κατευθυντήριες γραμμές, και ως εκ τούτου οι απεικονιστικές τεχνικές αξιοποιήθηκαν συμπληρωματικά. Ωστόσο, σε περιπτώσεις χρήσης οργανικών υλών (λ.χ. ινδικό) ή σε περιπτώσεις ανάμιξης διαφόρων

χρωστικών, η φθορισμομετρία ακτίνων Χ συχνά δεν παρείχε βοηθητικά πορίσματα. Σε τέτοιες περιπτώσεις δόθηκε μεγαλύτερη βάση στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης, την έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση αλλά και τη φωτογραφική τεκμηρίωση από την στερεοσκοπική εξέταση.

Ανάλυση των συνολικών αποτελεσμάτων της εικόνας A

Από το σημείο 32 του αντικειμένου A μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες για τη σύσταση της –αρκετά λεπτής, ενδεχομένως ημι-απορροφητικής– προετοιμασίας της εικόνας. Είναι βοηθητικό να λαμβάνονται υπόψη τα στοιχεία που εμπεριέχονται στην προετοιμασία, καθώς πιθανότατα θα εμφανίζονται σε κάθε μέτρηση. Στην προκειμένη περίπτωση έχουμε μεγάλα ποσοστά Ca και Pb, ενώ εντοπίζονται επίσης, κατά φθίνουσα σειρά, S, Fe, Zn, Si, K, Cr, Mn, Sr, Ni, Ti, Al. Κατά πάσα πιθανότητα πρόκειται για θεικό ασβέστιο (γύψο) σε ανάμιξη με λευκό του μολύβδου. Τα υπόλοιπα στοιχεία μάλλον παραπέμπουν σε προσμίξεις στα κοιτάσματα της γύψου, λ.χ. θεικό στρόντιο (SrSO_4) κ.ά. (Μαστροθεόδωρος 2016). Το στρόντιο είναι ένα στοιχείο που εμφανίζεται σε μικρή ποσότητα σε κάθε σημείο από όπου λήφθηκαν μετρήσεις, σε όλες τις εικόνες.



Εικόνα 27: Αντικείμενο A: Υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού, έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό φάσμα με την MuSIS™ HS και έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση (λανθασμένα χρώματα) με την MuSIS™ HS.

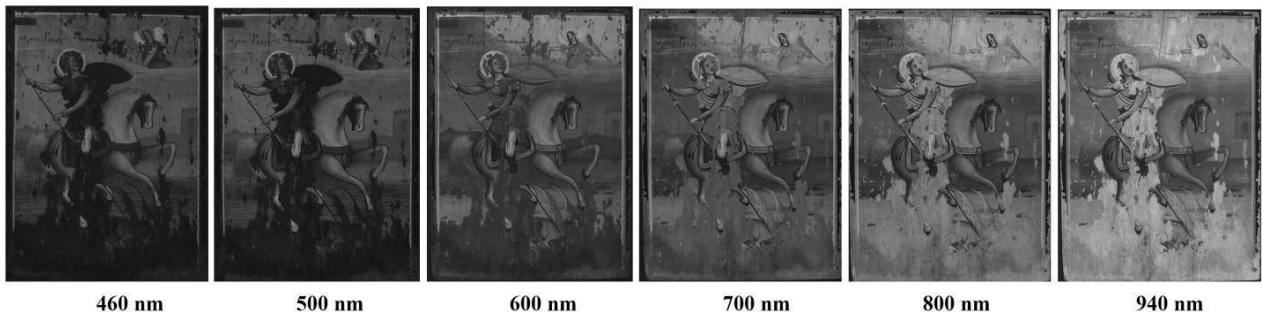
Το σημείο 1 της Εικόνας A βρίσκεται στην εξώτερη από τις τρεις διαδοχικές περιφερειακές ταινίες που περιβάλλουν τη σύνθεση. Το χρώμα της περιοχής είναι καστανό σκούρο προς μαύρο. Κατά την στερεοσκοπική εξέταση του αντικειμένου (εικόνα 28) έγινε σαφές πως η καστανή-μαύρη ταινία πατά επάνω στην υποκείμενη πορτοκαλί, το οποίο είναι σημαντικό, γιατί πολλά από τα στοιχεία των χρωστικών της πορτοκαλί ταινίας εμφανίζουν κορυφές στο φάσμα του σημείου 1. Το στοιχείο με μεγαλύτερη συγκέντρωση είναι ο Pb. Όπως



Εικόνα 28:

Στο σημείο αυτό υπάρχει σημαντική απώλεια της καστανής-μαύρης περιφερειακής ταινίας, το οποίο μας επιτρέπει να δούμε πορτοκαλί υποκείμενο στρώμα γύρω από τις εναπομείναντες νησίδες χρωματικού στρώματος.

θα φανεί και παρακάτω, όπου θα αναλυθούν τα πιο λευκά σημεία της εικόνας, ο καλλιτέχνης έχει χρησιμοποιήσει ως λευκή ύλη λευκό του μολύβδου, και ως εκ τούτου ο μόλυβδος είναι λίγο πολύ παρών σε κάθε μέτρηση. Στην προκειμένη περίπτωση, μιας που εξετάζουμε ένα τόσο σκούρο χρωματικό στρώμα, το λευκό του μολύβδου προέρχεται κατά πάσα πιθανότητα είτε από το υποκείμενο πορτοκαλί στρώμα, είτε (και) από την προετοιμασία. Εντοπίζεται επίσης αρκετή ποσότητα Fe, όπως και ποσότητες Si, Ca, S, K, Ti, τα οποία γενικά παραπέμπουν σε γαιώδεις χρωστικές (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5). Πιθανόν στην ταινία να έχει χρησιμοποιηθεί μαύρο του άνθρακα, και η γαιώδης χρωστική να προέρχεται από το υποκείμενο στρώμα. Δεδομένου βέβαια πως το χρώμα της ταινίας στο ορατό δεν είναι απόλυτα μαύρο, δεν αποκλείεται να πρόκειται και για μίξη μαύρου του άνθρακα με κίτρινη γαιώδη χρωστική ή με πράσινη γαία. Πάντως στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης η περιοχή υποδεικνύει μεγάλη απορροφητικότητα σε όλες τις φασματικές ζώνες, στοιχείο που συνάδει με μαύρο του άνθρακα (Cosentino *et al* 2014, Picollo *et al* 2020).



Εικόνα 29: Πολυφασματικές απεικονίσεις ανάκλασης της εικόνας A που λήφθηκαν με την MuSIS™ HS στις φασματικές ζώνες 460nm, 500nm, 600nm, 700nm, 800nm και 940nm.

Το σημείο 2 βρίσκεται στην ενδιάμεση, πορτοκαλί περιφερειακή ταινία. Εντοπίζεται Pb, που παραπέμπει σε λευκό του μολύβδου. Σημειώνεται μεγαλύτερη ποσότητα Fe, όπως και τα στοιχεία Si, Ca, K, Ti, παραπέμποντας σε κίτρινη γαιώδη χρωστική (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5). Τέλος, μικρή κορυφή Cd και η παρουσία S υποδηλώνουν πως ίσως υπάρχει μικρή ποσότητα κίτρινου του καδμίου. Δεν αποκλείεται ο Pb να υποδηλώνει και τη χρήση μίνιου, σε ανάμιξη με κίτρινη χρωστική. Το σημείο 3 βρίσκεται στη λευκή, εσωτερική περιφερειακή ταινία, η οποία επίσης φαίνεται να πατά επάνω στην πορτοκαλί (βλ. εικόνα 30). Όπως είναι αναμενόμενο, η

μεγαλύτερη κατά πολύ κορυφή είναι του μολύβδου (λευκό μολύβδου). Όπως και στο φάσμα 2, υπάρχουν στοιχεία που παραπέμπουν σε κίτρινη γαιώδη χρωστική και μικρή ποσότητα κίτρινου του καδμίου. Κατά πάσα πιθανότητα, αυτά προέρχονται από το υποκείμενο στρώμα της πορτοκαλί ταινίας. Κατά την στερεοσκοπική εξέταση διαπιστώθηκε πως σε κάποια σημεία, κάτω από τη λευκή και την πορτοκαλί ταινία υπάρχει μία άλλη αντίστοιχη καστανή-πορτοκαλί, ενδεχομένως ζωγραφισμένη σε παλαιότερο χρόνο (εικόνα 31). Σε αυτό το σημείο λήφθηκε η μέτρηση 31,

Εικόνα 30



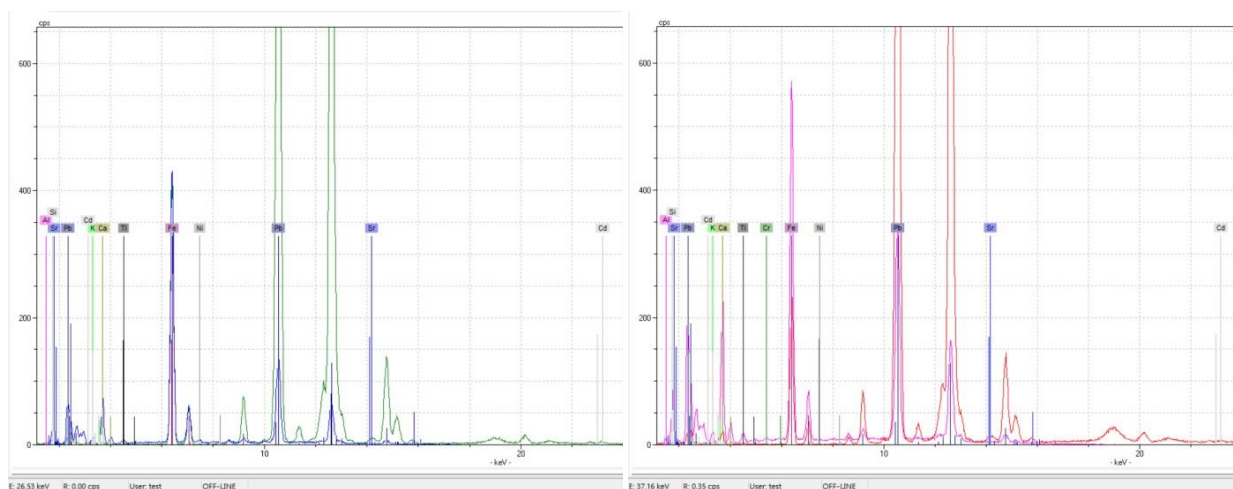
Εικόνα 31



Εικόνα 30: Κατά τη στερεοσκοπική εξέταση η λευκή ταινία φαίνεται να πατά επάνω στην πορτοκαλί.

Εικόνα 31: Παλαιότερη πορτοκαλί ταινία στο υποκείμενο στρώμα.

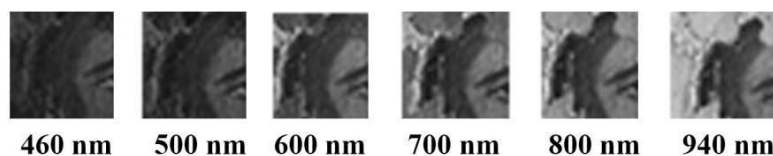
ώστε να διαπιστωθεί εάν πρόκειται για διαδοχικά στάδια της κατασκευής του έργου, ή αν τα υπερκείμενα στρώματα αποτελούν νεότερη επιζωγράφιση. Τα φάσματα των σημείων 2 και 31 είναι αντίστοιχα, με τη διαφορά πως το 31 εμφανίζει μια μικρή ποσότητα χρωμίου. Κατά πάσα πιθανότητα η παλαιότερη ταινία καλύφθηκε από επιλογή του καλλιτέχνη της εικόνας.



Εικόνα 32: Συγκριτικά φάσματα των σημείων 2 και 31.

Η μέτρηση του σημείου 4 έχει ληφθεί στο υποκίτρινο σύννεφο που περιβάλλει τον άγγελο, πάνω δεξιά. Με την πρώτη ματιά είναι σαφής η μεγάλη ποσότητα Pb, λόγω λευκού του μολύβδου. Πέρα από αυτό εντοπίζονται μικρές ποσότητες Hg και S που παραπέμπουν σε vermilion (συνθετική κιννάβαρη), Cd και S που παραπέμπουν σε κίτρινο του καδμίου, καθώς και Sn, που μπορεί να παραπέμπει σε κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου –ίσως τύπου II, σε συνδυασμό με την παρουσία Si–, ίσως όμως να αποτελεί και πρόσμιξη του λευκού του μολύβδου (βλ. και “Συζήτηση:

Εικόνα Α”). Στο συγκεκριμένο σημείο η ποσότητα του Pb είναι τόσο μεγαλύτερη από τα άλλα στοιχεία, που η έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση και οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης δεν μπορούν να μας δώσουν κάποιο άλλο βοηθητικό στοιχείο. Πολύ παρόμοιο με το σημείο 4 είναι το φάσμα του σημείου 14, δηλαδή του σαρκώματος στο πρόσωπο του αγίου. Ομοίως και εδώ υπάρχει μεγάλη ποσότητα λευκού του μολύβδου, *vermilion* και μικρές ποσότητες κίτρινου του καδμίου και ίσως κίτρινου μολύβδου κασσιτέρου. Επίσης αντίστοιχο είναι και το φάσμα 13, επάνω στον προπλασμό του προσώπου του αγίου. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση το λευκό του μολύβδου, το *vermilion*, το κίτρινο του καδμίου και ενδεχομένως το κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου ανήκουν στο χρωματικό στρώμα κάτω από τον προπλασμό. Ως εκ τούτου, μπορούμε να υποθέσουμε πως ο προπλασμός περιέχει μαύρο του άνθρακα, που δεν μπορεί να φανεί στο XRF. Η παραπάνω υπόθεση συνάδει με τη μεγάλη απορροφητικότητα που βλέπουμε στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης (Picollo *et al* 2020) (εικόνα 33).

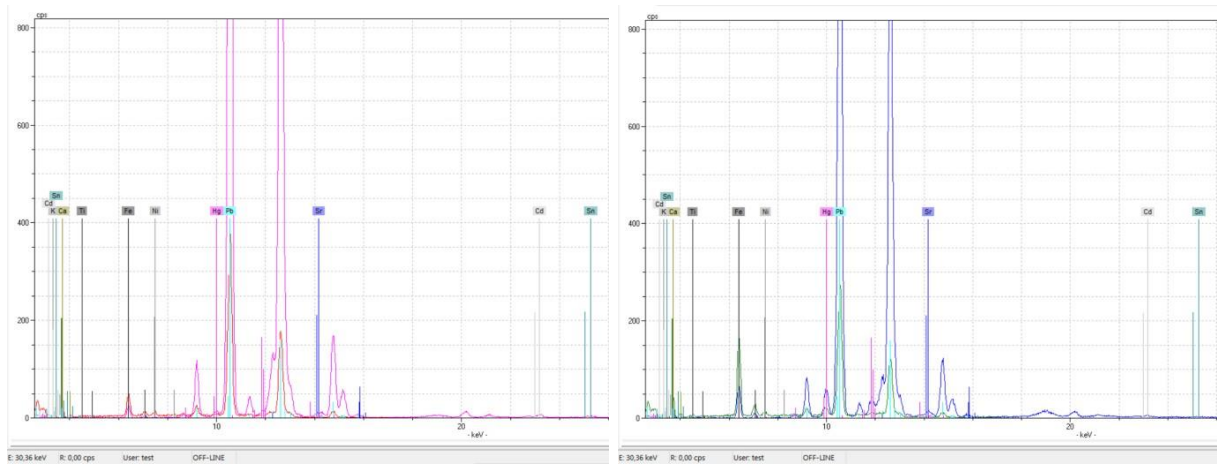


Εικόνα 33: Μεγάλη απορροφητικότητα της περιοχής του προπλασμού στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης

Όπως δείχθηκε παραπάνω, τόσο τα φάσματα XRF όσο και οι απεικονιστικές μέθοδοι υπέδειξαν πως στην κόκκινη περιοχή της κάπας (σημείο 8) έχουν χρησιμοποιηθεί *vermilion* (συνθετική κιννάβαρη) και λευκό του μολύβδου. Αντίστοιχα φάσματα, λανθασμένα χρώματα και απεικονίσεις ανάκλασης με το σημείο 8 εντοπίζονται στα σημεία 11, 12, 24 και 25. Τα σημεία 11 και 12 βρίσκονται στην κάπα του αγγέλου. Εκτός από την ξεκάθαρη παρουσία *vermilion*, σε αυτά εντοπίζεται επίσης λευκό του μολύβδου, μικρή ποσότητα κίτρινου του καδμίου και ίσως κίτρινου μολύβδου κασσιτέρου, ενδεχομένως από το υποκείμενο στρώμα των σύννεφων.

Το φάσμα 24 έχει ληφθεί από ένα σημείο στο έδαφος, όπου επάνω σε ένα απαλό υποκίτρινο χρώμα έχουν ζωγραφιστεί πορτοκαλί γραμμές. Λαμβάνοντας υπόψη το φάσμα XRF, το λανθασμένο χρώμα, τις απεικονίσεις ανάκλασης και τον βαθυκόκκινο φθορισμό, οι πορτοκαλί γραμμές κατά πάσα πιθανότητα περιέχουν *vermilion*. Εκτός από αυτό, εντοπίζεται πολύς Pb, αρκετός Fe, ποσότητες Ca και Si και μικρότερες ποσότητες Al, S, K, Ti, Ni, Cd και Sn. Το φάσμα 24 κρίθηκε σκόπιμο να αναλυθεί συγκριτικά με το φάσμα 4 (σύννεφα), για δύο λόγους (εικόνα 34). Πρώτον το υποκίτρινο χρώμα του εδάφους μοιάζει πολύ με αυτό των σύννεφων, και δεύτερον πολλά στοιχεία εμφανίζονται και στα δύο φάσματα. Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν πως το φάσμα 4 έχει περισσότερο Pb (λευκό του μολύβδου), ενώ το φάσμα 24 περισσότερο Hg (*vermilion*) και Fe, Al, Si, K, Ca, Ti (πιθανώς κίτρινη γαιώδης χρωστική, βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5). Ως εκ τούτου, δεν αποκλείεται το έδαφος να αποτελεί την ίδια μίξη χρωστικών με τα σύννεφα (λευκό

του μολύβδου, *vermilion*, κίτρινο του καδμίου, ενδεχομένως κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου), ενώ για τις πορτοκαλί γραμμές να έχει αναμιχθεί *vermilion* με κίτρινη γαϊώδη χρωστική.



Εικόνα 34: Συγκριτικά φάσματα των σημείων 4 και 24.

Το σημείο 25 βρίσκεται στα φτερά του δράκου. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω (βλ. σημείο 8), όλα τα στοιχεία καταδεικνύουν την παρουσία *vermilion*, το οποίο σε αυτή την περίπτωση φαίνεται να έχει εφαρμοστεί σε λεπτό, ημιδιαφανές στρώμα. Κρίνοντας από την πιο σκούρα απόχρωση του *vermilion*, τόσο στο ορατό όσο και στην έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση, δεν αποκλείεται να έχει χρησιμοποιηθεί και μικρή ποσότητα μαύρου του άνθρακα. Επίσης υπάρχει λευκό του μολύβδου και μικρές ποσότητες κίτρινου του καδμίου και ίσως κίτρινου του μολύβδου-κασσιτέρου, πιθανότατα από το υποκείμενο στρώμα του εδάφους. Ενδιαφέρον παρουσιάζει πως το φάσμα 25 παρουσιάζει μεγάλα ποσοστά Ca, σαφώς μεγαλύτερα από το χρωματικό στρώμα του εδάφους. Το υψηλό Ca θα μπορούσε να δικαιολογείται σε κάποιο βαθμό από την παρουσία μαύρου του άνθρακα, ωστόσο αυτό θα υποδείκνυε πως η πρώτη ύλη είναι οστά, και άρα θα έπρεπε να έχουμε και υψηλό P (Μαστροθεόδωρος 2016), κάτι που δεν ισχύει σε αυτή την περίπτωση. Υψηλό Ca έχουμε και στο σημείο 11, όπου, όπως και στην προκειμένη περίπτωση, το κόκκινο χρώμα είναι πιο ψυχρό, πιο ιώδες και λίγο πιο σκούρο από άλλες περιοχές (λ.χ. κάπα αγίου). Ενδεχομένως σε αυτά τα σημεία επάνω από το *vermilion* να έχει εφαρμοστεί κάποια κόκκινη-ιώδης λάκα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω (βλ. “Χρήσιμη ορολογία”), συχνά χρησιμοποιούνταν ως προστύμματα σε λάκες θειικό ασβέστιο και άλλες ασβεστιτικές ύλες.

Το σημείο 26 επίσης περιέχει *vermilion*, όπως προκύπτει από την παρουσία Hg και την αύξηση ανακλαστικότητας από τα 600nm και εξής. Πρόκειται για το σώμα του δράκου, το οποίο έχει καστανοκίτρινο χρώμα. Σε αυτή την περίπτωση το *vermilion* βρίσκεται σε μίξη με κάποια άλλη χρωστική, και ως εκ τούτου το λανθασμένο χρώμα είναι κάπως πιο φαιό από το προηγούμενο

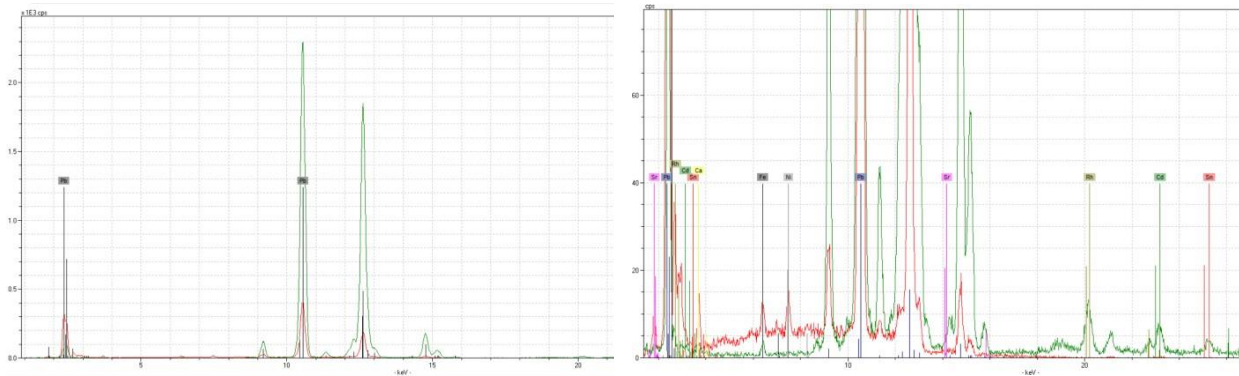
κίτρινο. Από τον αυξημένο Fe και την παρουσία Si, Al και Mn⁴¹ μπορούμε να υποθέσουμε πως πρόκειται για κίτρινη γαιώδη χρωστική (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5), της οποίας το φαιό-πράσινο λανθασμένο χρώμα δικαιολογεί την εικόνα που έχουμε στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση (Matteini *et al* 1978, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020). Επίσης υπάρχουν μικρές ποσότητες Cd και Sn, μάλλον κίτρινο του καδμίου και ίσως κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου. Πρέπει να σημειωθεί πως δεν αποκλείεται, αντί για κίτρινο του καδμίου, να έχουμε πορτοκαλί του καδμίου, κατά τη σύνθεση του οποίου συντελείται μερική υποκατάσταση Cd από Hg [(Cd, Hg)S] (Feller 2012). Τέλος, σε αντίθεση με την περίπτωση του σημείου 25 (φτερά), στην προκειμένη το υποκείμενο στρώμα δεν είναι το έδαφος, αλλά ένα κυανό χρωματικό στρώμα, με κυανό προς μαύρο λανθασμένο χρώμα (εικόνα 36). Πιθανόν κάποια από την ποσότητα Fe που ανιχνεύθηκε στο σημείο 26 να ανήκει σε αυτό το υποκείμενο στρώμα (βλ. και παρακάτω, σημεία 30, 22, 5).



Εικόνα 35: Το κυανό υποκείμενο στρώμα του σημείου 26, στο ορατό φάσμα και στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση.

Από την εξέταση των δύο πιο λευκών σημείων, 20 και 29, επιβεβαιώνεται πως η λευκή χρωστική που έχει χρησιμοποιήσει ο καλλιτέχνης είναι το λευκό του μολύβδου. Το σημείο 20 βρίσκεται στο ένδυμα του αγίου, συγκεκριμένα στην περιοχή του γονάτου, και ίσως να αποτελεί το πιο λευκό σημείο της σύνθεσης. Άλλα στοιχεία που εντοπίζονται σε μικρές ποσότητες είναι S, Ca, Fe, Ni, και σε ακόμη μικρότερες Al, K, Hg, Sr, Cd και Sn (βλ. και εικόνα 36). Τέλος, η περιοχή επιδεικνύει στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση μία απαλή ροζ απόχρωση. Το έντονο κόκκινο λανθασμένο χρώμα παραπέμπει σε ινδικό, το οποίο διαπιστώθηκε πως έχει χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εικόνα (βλ. παρακάτω). Επομένως δεν αποκλείεται σε αυτή την περίπτωση να έχει αναμιχθεί μικρή ποσότητα ινδικού, ή να διαφαίνεται το λανθασμένο χρώμα του υποκείμενου κυανού στρώματος της σέλας.

⁴¹ Οι όμπρες και οι σιέννες περιέχουν και οι δύο ποσοστά Mn, ενώ οι ώχρες μπορεί επίσης να περιέχουν κάποια ποσότητα. Η διαφοροποίηση προκύπτει από το ότι οι ώχρες, αν περιέχουν Mn, αυτό βρίσκεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, μικρότερες από 0,5%. Οι σιέννες περιέχουν κάπως μεγαλύτερη ποσότητα, της τάξης του 0,6-1,5%, ενώ τέλος οι όμπρες παρουσιάζουν σημαντική περιεκτικότητα, δηλαδή 8-16% (Gettens and Stout 1966, Mastrotheodoros *et al* 2021).



Εικόνα 36: Φάσμα από το σημείο 20 (λευκό ένδυμα). Στην πρώτη εικόνα φαίνονται οι μεγάλες κορυφές Pb, που παραπέμπουν στο λευκό του μολύβδου. Η δεύτερη εικόνα είναι το ίδιο φάσμα σε μεγάλη μεγέθυνση, ώστε να φανούν και οι μικρότερες κορυφές των άλλων στοιχείων του φάσματος.

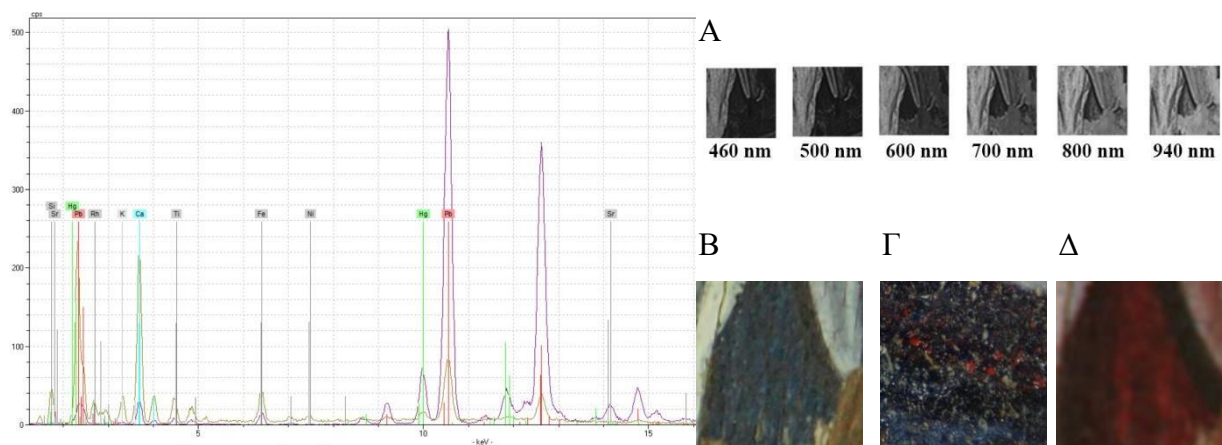
Το σημείο 29 βρίσκεται στο σώμα του αλόγου, και το φάσμα του είναι αρκετά αντίστοιχο με του σημείου 20. Σημειώνονται και πάλι πολύ μεγάλες κορυφές του Pb, ενώ εντοπίζονται μικρές κορυφές S, Ni, Al, K, Hg, Sr, Cd και Sn. Η διαφοροποίηση έγκειται στο ότι οι κορυφές του Ca και του Fe είναι αρκετά μεγαλύτερες. Στο ορατό, επάνω στο λευκό σώμα του αλόγου διακρίνονται πυκνές λεπτές πινελιές με ανοιχτή φαιά απόχρωση. Επομένως, δεν αποκλείεται τα στοιχεία Ca⁴² και Fe να παραπέμπουν σε μαύρο του άνθρακα (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5). Το σκούρο φαιό και σε κάποια σημεία μαύρο λανθασμένο χρώμα που έχουν αυτές οι πινελιές, όπως και η μεγάλη απορροφητικότητά τους στην υπέρυθη ακτινοβολία, είναι στοιχεία που συνάδουν με το μαύρο του άνθρακα (Matteini *et al* 1978, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Cosentino *et al* 2014, Picollo *et al* 2020, Art&Maps 2020). Όμοιο με το φάσμα 29 είναι το φάσμα 27. Το σημείο της μέτρησης βρίσκεται στην ουρά του αλόγου, και φαίνεται να φέρει αντίστοιχα χρωματικά στρώματα με το σώμα του αλόγου.

Το σημείο 19 αποτελεί τη μόνη μέτρηση σε καθαρά κίτρινη περιοχή, και βρίσκεται στην περιφερειακή ζώνη της σέλας του αλόγου. Το φάσμα 19 εξετάστηκε συγκριτικά με το φάσμα 29, που έχει ληφθεί από το υποκείμενο λευκό χρωματικό στρώμα (σώμα αλόγου). Τα δύο φάσματα είναι σε μεγάλο βαθμό αντίστοιχα. Οι βασικές τους διαφορές είναι πως στο σημείο προς εξέταση (φάσμα 19) εντοπίζονται αρκετά μεγαλύτερες κορυφές Hg, Fe και κάπως μικρότερες κορυφές Pb. Οι πιθανές χρωστικές που φαίνεται να έχουν χρησιμοποιηθεί είναι λευκό του μολύβδου, *vermilion*

⁴² Παραπάνω στο σημείο 25 αναφέρθηκε και πάλι πως η κορυφή του Ca ήταν υψηλή, αλλά δεν αποδόθηκε (τουλάχιστον όχι αποκλειστικά) στο μαύρο του άνθρακα. Η κορυφή του Ca στο σημείο 25 ήταν υπερβολικά υψηλή (352,97 cps). Τόσο υψηλό Ca, αν παρέπεμπε σε μαύρο του άνθρακα, θα υποδείκνυε κατά πάσα πιθανότητα πρώτη ύλη από οστά. Επομένως θα έπρεπε να υπάρχει και κάποια σχετικά μεγάλη κορυφή P. Στην περίπτωση του σημείου 29 υπάρχει κάπως αυξημένο Ca (30,19 cps), αλλά πολύ λιγότερο συγκριτικά με του σημείου 25. Σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσε ίσως να παραπέμπει σε μαύρο του άνθρακα με πρώτη ύλη κλάδους κλήματος (Μαστροθεόδωρος 2016).

και κίτρινη γαιώδης χρωστική. Η κίτρινη ζώνη φέρει δύο λεπτές διακοσμητικές γραμμές, οι οποίες ενδεχομένως να είναι κάποια όμπρα ή σιέννα, επομένως πιθανώς κάποια ποσότητα Fe να προκύπτει και από εκεί. Κρίνοντας από την ομοιότητα των λανθασμένων χρωμάτων και της ανακλαστικότητας, η ίδια ανάμιξη χρωστικών με το σημείο 19 έχει χρησιμοποιηθεί, πέρα από τη σέλα, και στα χαλινάρια του αλόγου.

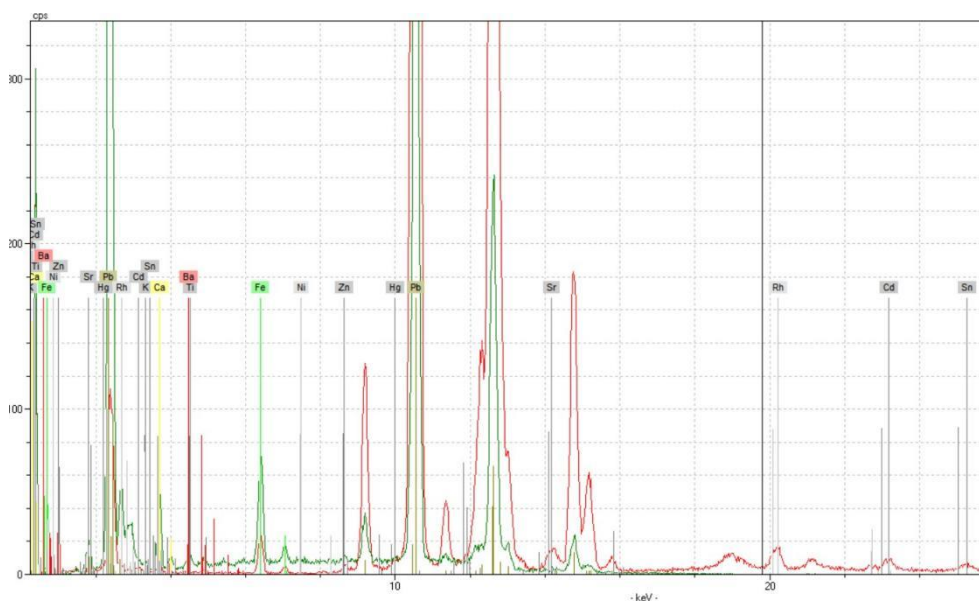
Ως προς τα σημεία διάφορων αποχρώσεων κυανού χρώματος, αυτά φαίνονται να διαχωρίζονται στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση σε δύο σαφείς ομάδες, στις περιοχές με λανθασμένα χρώματα κόκκινα-ιώδη (μετρήσεις 10, 15, 16, 17, 18) και στις περιοχές με λανθασμένα χρώματα κυανά-μαύρα (μετρήσεις 5, 22, 30). Το πιο έντονο βαθύ κόκκινο λανθασμένο χρώμα εντοπίζεται στη μέτρηση 18, και ως εκ τούτου ήταν το σημείο που εξετάστηκε πρώτο. Το φάσμα του σημείου 18, το οποίο βρίσκεται στο ένδυμα του αγίου κάτω από τον θώρακα, δείχνει πολύ Pb (λευκό του μολύβδου), αρκετό Ca και κάποια ποσότητα Hg, Fe, Si, K, Ti, Al (εικόνα 37). Ο σίδηρος θα μπορούσε να παραπέμπει σε πρωσικό κυανό, αλλά η ποσότητα στην οποία βρίσκεται είναι αρκετά μικρή για να αποτελεί το πρωτεύον στοιχείο της χρωστικής. Τα στοιχεία Al και Si δύνανται να παραπέμπουν σε συνθετικό μπλε ουλτραμαρίν (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5). Το βαθύ κόκκινο λανθασμένο χρώμα μπορεί να αντιστοιχηθεί είτε με το συνθετικό μπλε ουλτραμαρίν είτε με ινδικό, το οποίο, ως οργανική χρωστική, δεν διακρίνεται στα φάσματα XRF (Moon *et al* 1992, Cosentino 2014, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020). Την λύση προσφέρουν οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης, όπου παρατηρείται διαρκώς αυξανόμενη ανακλαστικότητα της χρωστικής από τα 700nm και εξής, ταυτοποιώντας την με ινδικό (εικόνα 37). Στην περίπτωση του μπλε ουλτραμαρίν, εντοπίζεται αρχικά μια μικρή αύξηση ανακλαστικότητας κοντά στα 450nm (κάτι που δεν παρατηρείται εν προκειμένω), έπειτα η ανακλαστικότητα φθίνει και δεν αυξάνεται ξανά μέχρι περίπου τα 750-800nm (CHSOS, Picollo *et al* 2020). Η κορυφή Hg στο φάσμα 18 κατά πάσα πιθανότητα υποδεικνύει την παρουσία *vermilion*. Στην στερεοσκοπική εξέταση της περιοχής φαίνονται πράγματι αραιοί κόκκινοι κόκκοι διαφόρων μεγεθών διεσπαρμένοι στο συγκεκριμένο κυανό στρώμα, οι οποίοι σταματούν ακριβώς στο σημείο όπου ξεκινά το κυανό της σέλας. Ενδεχομένως το ότι οι κόκκινοι κόκκοι παρουσιάζουν το ίδιο σαφές όριο με την κυανή χρωστική να συμβαίνει γιατί πρόκειται για ανάμιξη των δύο ουσιών, και όχι για αραιό στρώμα *vermilion* εφαρμοσμένο ως λαζούρα.



Εικόνα 37: Αριστερά το φάσμα XRF και δεξιά (A) οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης, (B) το χρώμα στο ορατό, (Γ) η στερεοσκοπική παρατήρηση και (Δ) το λανθασμένο χρώμα του σημείου 18, που εμπεριέχει ινδικό.

Αρκετά όμοιο με το φάσμα 18 είναι το φάσμα 17 που έχει ληφθεί σε μία άλλη περιοχή ενδύματος κάτω από τον θώρακα, η οποία έχει πιο φωτεινό κυανό χρώμα και σκούρα διαγράμμιση πτυχώσεων. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε μεγαλύτερη ποσότητα λευκού του μολύβδου και *vermilion*, αλλά μικρότερη ποσότητα ινδικού. Ενδιαφέρον παρουσιάζει πως στα φάσματα 17 και 18, όπως και σε όλα τα υπόλοιπα σημεία όπου ταυτοποιήθηκε η χρήση ινδικού, εντοπίζονται αρκετά μεγάλες κορυφές Ca. Πιθανολογείται το ενδεχόμενο να έχει προστεθεί στο ινδικό ανθρακικό ή θειικό ασβέστιο ως πληρωτικό υλικό. Επίσης, τα σχετικά μεγάλα ποσοστά Al, Si, K και Ti ίσως να έχουν προκύψει από νοθεία της χρωστικής (βλ. παρακάτω, “Ινδικό & Πρωσικό κυανό”). Με την υπόθεση αυτή συμφωνεί το ότι εμφανίζονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις στο φάσμα 17, όπου έχουμε και λιγότερο ινδικό. Μεγάλη ομοιότητα με το φάσμα 17 παρουσιάζει το φάσμα 15, που έχει ληφθεί στο άνω ένδυμα του αγίου, κοντά στην περιοχή του ώμου. Πράγματι φαίνεται να έχει περίπου την ίδια ποσότητα Ca, Pb (λευκό του μολύβδου) και Hg (*vermilion*), και την ίδια ένταση κόκκινου λανθασμένου χρώματος. Το γεγονός αυτό δεν προκαλεί έκπληξη, καθώς και στο ορατό βλέπουμε αντίστοιχο φωτεινό κυανό χρώμα και σκούρα διαγράμμιση πτυχώσεων με πριν. Το σημείο 16 βρίσκεται κάπως πιο χαμηλά από το 15, στην περιοχή του αγκώνα. Συγκριτικά με το φάσμα 15 του ώμου φαίνεται να περιέχει περισσότερο λευκό του μολύβδου και *vermilion*, αλλά πολύ λιγότερο ινδικό. Τέλος, μικρή ποσότητα ινδικού φαίνεται να υπάρχει στο σημείο 10, δηλαδή τον προπλασμό στο ένδυμα του αγγέλου. Το φάσμα του σημείου 10 μοιάζει περισσότερο με την μέτρηση που έχει ληφθεί στο υποκίτρινο σύννεφο (φάσμα 4), το οποίο είναι το υποκείμενο χρωματικό στρώμα του ενδύματος του αγγέλου. Όπως και εκεί, έτσι και στην προκειμένη περίπτωση εντοπίζεται, πέραν του ινδικού, μεγάλη ποσότητα λευκού του μολύβδου και μικρές ποσότητες *vermilion*, κίτρινου του καδμίου και ίσως κίτρινου του μολύβδου κασσιτέρου.

Το φάσμα 30 έχει ληφθεί στην κυανή περιοχή της λίμνης, και ανήκει στα σημεία που το λανθασμένο τους χρώμα είναι κυανό προς μαύρο. Εμφανίζονται πολύ μεγάλες κορυφές Pb (λευκό του μολύβδου) και αρκετός Fe (εικόνα 38). Κρίνοντας από τη σημαντική κορυφή του σιδήρου, ενδεχομένως να πρόκειται για πρωσικό κυανό. Το πιο σύνηθες λανθασμένο χρώμα του πρωσικού κυανού είναι το μαύρο. Ωστόσο, η συγκεκριμένη χρωστική έχει αντιστοιχιστεί στη βιβλιογραφία με πάνω από ένα λανθασμένα χρώματα, ανάμεσά τους και το κυανό-μαύρο (βλ. “Ινδικό & Πρωσικό κυανό”). Επίσης το ότι στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης επιδεικνύει μεγάλη απορροφητικότητα όσο πλησιάζει στην περιοχή του υπερύθρου συνάδει με την υπόθεση του πρωσικού κυανού (FitzHugh 2012, Picollo *et al* 2020). Σε αυτό το σημείο παρατίθεται και μία άλλη κυανή χρωστική που ταιριάζει με τα δεδομένα που έχουμε, αν και είναι μάλλον απίθανο να έχει όντως χρησιμοποιηθεί. Πρόκειται για τον βιβιανίτη (*blue ochre*), χρωστική που επίσης περιέχει σίδηρο, το λανθασμένο χρώμα της ταιριάζει πολύ με αυτό που βλέπουμε (Art&Maps 2020), αλλά και οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης φαίνονται να ακολουθούν το φάσμα ανακλαστικότητας που παρέχεται από το CHSOS. Ωστόσο δεν διαθέτουμε κάποια ένδειξη χρήσης του βιβιανίτη μετά τον 18^ο αι (Richter 2007, Μαστροθεόδωρος 2016). Στο σημείο 30 εντοπίζονται επίσης μικρές κορυφές Cd, Si και Sn. Δεν αποκλείεται να πρόκειται για κίτρινο του καδμίου και ίσως κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου από το υποκείμενο στρώμα του εδάφους.

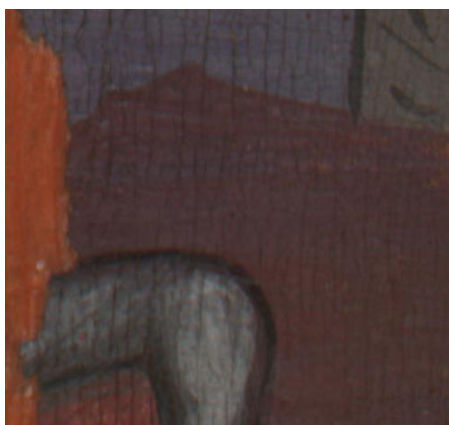


Εικόνα 38: Φάσμα XRF, χρώμα στο ορατό και λανθασμένο χρώμα του σημείου που εμπεριέχει μάλλον πρωσικό κυανό.

Αντίστοιχο με το φάσμα 30 είναι το 22, το οποίο βρίσκεται στην σκούρα κυανή ζώνη ανάμεσα στη λίμνη και το βουνό. Το φάσμα 22 έχει λίγο παραπάνω σίδηρο, υποδεικνύοντας πως είτε η κυανή χρωστική (πρωσικό κυανό/βιβιανίτης) έχει χρησιμοποιηθεί σε παχύτερη απόθεση, είτε έχει αναμιχθεί με ποσότητα μαύρου του άνθρακα. Το λανθασμένο χρώμα είναι πράγματι κάπως πιο μαύρο και στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης η περιοχή φαίνεται πιο

απορροφητική συγκριτικά με το σημείο 30, αλλά αυτές οι διαπιστώσεις δεν ξεκαθαρίζουν αν έχουμε μαύρο του άνθρακα ή μεγαλύτερη απόθεση. Σε κάθε περίπτωση, σε σχέση με το φάσμα 30, το 22 φαίνεται να έχει μικρότερες κορυφές Pb (λευκό του μολύβδου), αλλά εμφανίζει και κορυφή Hg (*vermilion*). Το φάσμα 5 έχει ληφθεί σε ένα σημείο του ουρανού, πάνω αριστερά. Εξετάζοντας το φάσμα XRF, η μόνη πληροφορία που προκύπτει με ασφάλεια είναι πως το σημείο έχει λευκό του μολύβδου. Δεν εντοπίζεται καμία αρκετά υψηλή κορυφή που να παραπέμπει σε κάποια κυανή χρωστική. Από την άλλη, τόσο το κυανό προς μαύρο λανθασμένο χρώμα, όσο και η περιορισμένη ανακλαστικότητα στις απεικονίσεις ανάκλασης μας επιτρέπουν να υποθέσουμε πως πρόκειται και εδώ για πρωσικό κυανό ή βιβιανίτη. Ενδεχομένως δεν υπάρχει υψηλή κορυφή Fe γιατί το χρωματικό στρώμα είναι αρκετά λεπτό.

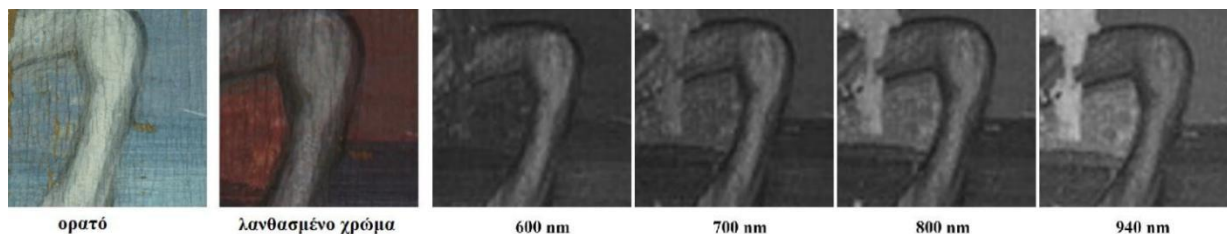
Ενδιαφέρον παρουσιάζει το σημείο 21, το οποίο βρίσκεται στο όρος με το κυανό-ιώδες χρώμα. Από τις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης δεν προκύπτει κάποιο σαφές συμπέρασμα, ωστόσο στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση φαίνεται σαν να υπάρχει ένα ημιδιαφανές βαθύ



Εικόνα 39: Έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση του σημείου 21.

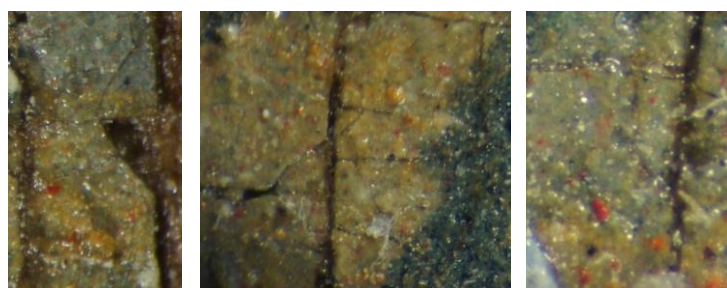
κόκκινο στρώμα πάνω από ένα κυανό (βλ. εικόνα 39). Με άλλα λόγια, φαίνεται σαν να έχει περαστεί ένα αραιό στρώμα ινδικού επάνω από το υποκείμενο πρωσικό κυανό (ή βιβιανίτη). Το φάσμα XRF δεν παραπέμπει σε καμία από τις δύο χρωστικές, καθώς έχει λιγότερο Ca από τις περιοχές με ινδικό και λιγότερο Fe από τις περιοχές με πρωσικό κυανό. Ωστόσο, το στρώμα του ινδικού είναι σαφώς λεπτό, επομένως αναμενόμενο να έχει λιγότερο Ca. Επίσης δείχθηκε παραπάνω ότι και η περιοχή του ουρανού έχει χαμηλό Fe, αλλά κατά πάσα πιθανότητα πρόκειται

επίσης για λεπτό στρώμα πρωσικού κυανού. Επιπλέον, το εξεταζόμενο φάσμα έχει υψηλές κορυφές Pb (λευκό του μολύβδου) και αρκετό Hg (*vermilion*), περιέχοντας συνολικά μεγαλύτερα ποσοστά διαφορετικών χρωστικών συγκριτικά με πιο καθαρές περιοχές ινδικού ή πρωσικού κυανού. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και μια περιοχή πιο αριστερά από το σημείο της μέτρησης, κάτω από το γόνατο του αλόγου. Εκεί φαίνεται να έχει χρησιμοποιηθεί –ενδεχομένως από λάθος– ινδικό χωρίς άλλο χρωματικό υπόστρωμα, κάτι που γίνεται αντιληπτό και στην μακροσκοπική παρατήρηση. Στο ορατό, το σημείο παρουσιάζει μια μικρή διαφοροποίηση, ενώ στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση επιδεικνύει πιο φωτεινή κόκκινη απόχρωση, και στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης αποδίδει αισθητά μεγαλύτερη ανακλαστικότητα (βλ. εικόνα 40).



Εικόνα 40: Απεικόνιση στο ορατό, έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση και ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης. Κάτω από το γόνατο του αλόγου έχει χρησιμοποιηθεί ινδικό χωρίς άλλο κυανό υπόστρωμα, ενώ δεξιά στο όρος έχει χρησιμοποιηθεί ινδικό επάνω σε πρωσικό κυανό (ή βιβιανίτη).

Το σημείο 28 έχει ληφθεί στην πράσινη περιοχή μεταξύ της κυανής λίμνης και του υποκίτρινου εδάφους (εικόνα 41). Τα πορίσματα της εξέτασης του φάσματος XRF δεν είναι επαρκή για τη διατύπωση κάποιας ασφαλούς υπόθεσης, πέρα από το ότι υπάρχει στο σημείο λευκό του μολύβδου. Από τη στερεοσκοπική παρατήρηση φαίνεται πως έχει γίνει χρήση (τουλάχιστον) δύο χρωστικών (βλ. Εικόνα 41), μάλλον κάποιας κυανής, πράσινης ή φαιάς εφαρμοσμένης επάνω σε κίτρινο-καστανό χρωματικό στρώμα. Κρίνοντας από τις απεικονίσεις στο υπέρυθρο και τον σχετικά υψηλό Fe, η εμπλοκή ινδικού μάλλον αποκλείεται, παρόλο που εντοπίζεται επίσης σχετικά υψηλό Ca. Πολύ πιθανό να πρόκειται για το ίδιο κυανό που έχει χρησιμοποιηθεί στη λίμνη (πρωσικό κυανό/βιβιανίτης). Δεν αποκλείεται ωστόσο να έχει χρησιμοποιηθεί και ποσότητα πράσινου, όπως πράσινης γαίας. Στις πράσινες γαίες πέρα από Fe τις περισσότερες φορές περιέχεται και Ca (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5), ενώ το λανθασμένο χρώμα ταιριάζει με αυτό που παρατηρείται στην προκειμένη περίπτωση (Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020).

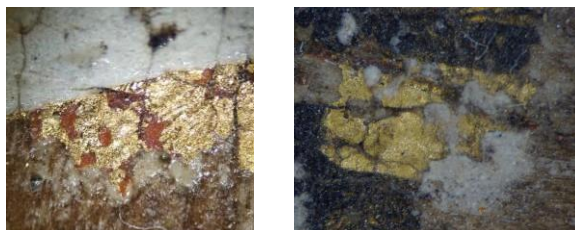


Εικόνα 41: Στερεοσκοπική παρατήρηση της ευρύτερης περιοχής του σημείου 28.

Η μέτρηση 23 έχει ληφθεί στα κυανοπράσινα φυτά. Ο υψηλός Pb υποδεικνύει λευκό του μολύβδου, ενώ ο υψηλός Fe πρωσικό κυανό ή βιβιανίτη. Όπως και στο σημείο 22, το λανθασμένο χρώμα είναι κάπως πιο μαύρο, ενώ στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης η περιοχή φαίνεται πιο απορροφητική. Δεν αποκλείεται αυτά να οφείλονται στην παρουσία μαύρου του άνθρακα (Picollo *et al* 2020). Επίσης δεν μπορούμε και εδώ να αποκλείσουμε την παρουσία πράσινης γαίας. Στο φάσμα εντοπίζονται επίσης Hg, Cd, Si και Sn, παραπέμποντας σε *vermilion*, κίτρινο του καδμίου και ίσως κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου. Οι χρωστικές αυτές μπορεί είτε να έχουν

αναμιχθεί με την κυανή χρωστική των φυτών ή (και) να ανήκουν στο υποκείμενο στρώμα του εδάφους.

Τέλος, τα φάσματα 7 και 9 έχουν ληφθεί στα σημεία όπου υπάρχουν φύλλα χρυσού (εικόνα 42). Το σημείο 7 βρίσκεται στο φωτοστέφανο, ενώ το σημείο 9 στην περιοχή του θώρακα. Και στις δύο περιοχές τα φύλλα χρυσού φαίνεται να είναι κράματα Au, Ag, Zn και Cu. Στην στερεοσκοπική εξέταση, το φύλλο χρυσού στο φωτοστέφανο φαίνεται να έχει καστανοκόκκινο υπόστρωμα, πιθανότατα πρόστυμμα για την καλύτερη συγκόλληση του φύλλου χρυσού, ενώ στον θώρακα δεν παρατηρείται κάτι αντίστοιχο. Λόγω αυτού πιθανολογείται πως τα στοιχεία Ca, Pb, Al, Si, K και Fe, τα οποία βρίσκονται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στο φάσμα 7, ενδεχομένως να ανήκουν στο πρόστυμμα. Ταυτόχρονα η αρκετά υψηλή –συγκριτικά με το φάσμα 9– κορυφή του Pb παραπέμπει ίσως σε χρήση ελαιώδους συγκολλητικού για την επικόλληση του φύλλου χρυσού. Τα ελαιώδη συγκολλητικά αποτελούνταν κατά κύριο λόγο από ξηραϊνόμενα έλαια με προσθήκη χρωστικών, και σε αυτά εφαρμοζόταν συχνά λευκό του μολύβδου, προκειμένου να επιταχυνθεί η ξήρανση (Μαστροθεόδωρος 2016, Merkaj and Civici 2020).



Εικόνα 42: Αριστερά το χρύσωμα στο φωτοστέφανο, όπου φαίνεται να υπάρχει καστανοκόκκινο πρόστυμμα. Δεξιά το χρύσωμα στον θώρακα, χωρίς πρόστυμμα.

Συζήτηση: Εικόνα Α

Στο πρόσωπο του Αγίου Γεωργίου εντοπίστηκαν λευκό του μολύβδου και μικρές ποσότητες *vermilion*, κίτρινου του καδμίου και ίσως κίτρινου του μολύβδου κασσιτέρου, ενώ ο προπλασμός αποτελείται από μαύρο του άνθρακα. Στα ενδύματα του αγίου εντοπίζονται κυρίως λευκό του μολύβδου και ινδικό, όπως και μικρή ποσότητα *vermilion*, ενώ στην κάπα καθαρό *vermilion* και λευκό του μολύβδου. Για την απόδοση του ίππου έχει χρησιμοποιηθεί λευκό του μολύβδου και μαύρο του άνθρακα. Στο σώμα του δράκου εντοπίζονται *vermilion*, λευκό του μολύβδου, κίτρινη γαιώδης χρωστική και πιθανώς κίτρινο του καδμίου και κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου, ενώ στα φτερά του *vermilion*, λευκό του μολύβδου, μαύρο του άνθρακα και πιθανώς κίτρινη γαιώδης χρωστική, κίτρινο του καδμίου και κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου. Τέλος,

είναι άξιο αναφοράς πως σχεδόν σε όλα τα φάσματα εντοπίζονται μικρές ποσότητες Cd, Si, και Sn.

Συνοπτικά, οι χρωστικές που εντοπίστηκαν στην εικόνα Α περιλαμβάνουν λευκό του μολύβδου, μαύρο του άνθρακα, *vermilion*, κίτρινο του καδμίου, κίτρινη γαιώδη χρωστική, ινδικό, πρωσικό κυανό (ή πιθανώς βιβιανίτη), και πιθανώς κόκκινη-ιώδη λάκα, μίνιο, ενδεχομένως κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου, κίτρινο του χρωμίου, πράσινη γαία, όμπρα ή σιέννα (εικόνα 43). Από αυτές, οι μόνες χρωστικές που δεν υπήρχαν διαθέσιμες πριν τον 19ο αι. είναι το κίτρινο του καδμίου, το κίτρινο του χρωμίου και το ινδικό, στην περίπτωση που είναι συνθετικό.

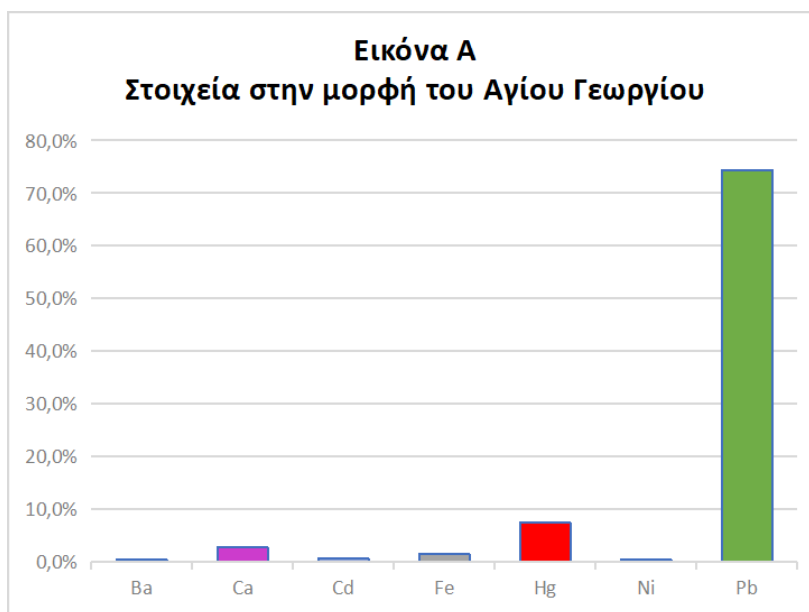
Το κατά πόσο η παρουσία Sn στα φάσματα μπορεί όντως να ταυτοποιηθεί με κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου είναι αμφίβολο. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, η συγκεκριμένη χρωστική δε φαίνεται να χρησιμοποιείται κατά την περίοδο από τα μέσα του 18^{ου} και ως τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, ενώ συγκεκριμένα ο τύπος II απαντάται ακόμη πιο σπάνια. Ωστόσο,





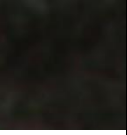


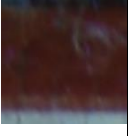


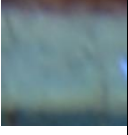
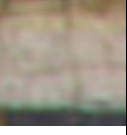
που εντοπίστηκαν στην εικόνα Α.










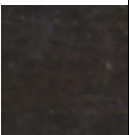





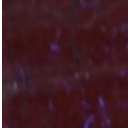
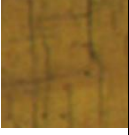


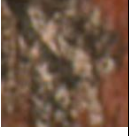
αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Μαστροθεόδωρος 2016) πως το λευκό του μολύβδου δύναται, σε ορισμένες περιπτώσεις, να εμφανίζει μικρές συγκεντρώσεις μεταλλικών ιχνοστοιχείων, μεταξύ των οποίων και Sn. Πιθανώς στην εικόνα Α να έχουμε αυτή την περίπτωση, το οποίο θα δικαιολογούσε και την εμφάνιση του στοιχείου σε όλα τα φάσματα. Το Cd, κορυφές του οποίου εντοπίζονται με την ίδια συχνότητα με του Sn, δεν είναι σίγουρο αν θα μπορούσε να αποτελεί αντίστοιχη περίπτωση. Δεν αποκλείεται η λεπτή προετοιμασία της εικόνας να φέρει ένα αραιό στρώμα κίτρινου του καδμίου, ως *imprimatura*.

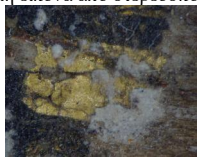

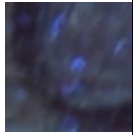

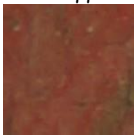
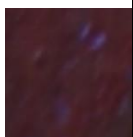
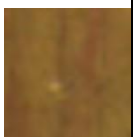
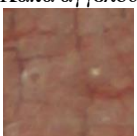
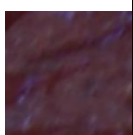
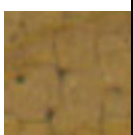
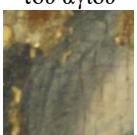
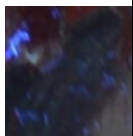
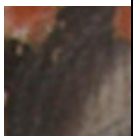

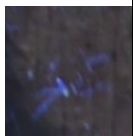
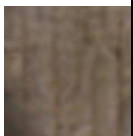
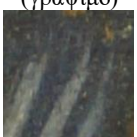
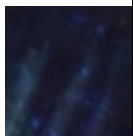
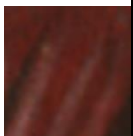
Εικόνα 43: Χαρτογράφηση του συνόλου των χρωστικών


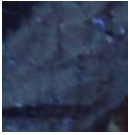

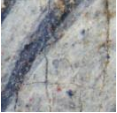

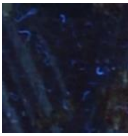


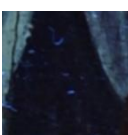
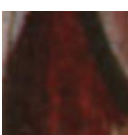








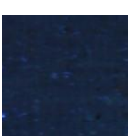
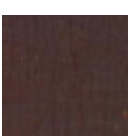


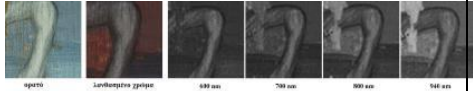
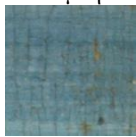

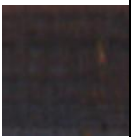

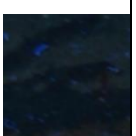

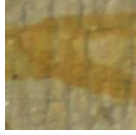


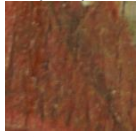
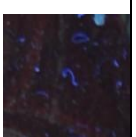
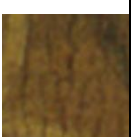



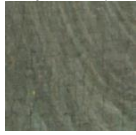
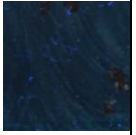
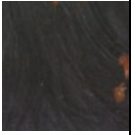

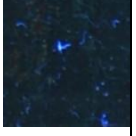
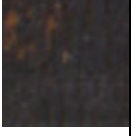
Εικόνα 44: Τα χημικά στοιχεία που εντοπίστηκαν με το pXRF στη μορφή του Αγίου Γεωργίου.

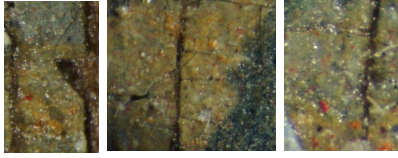

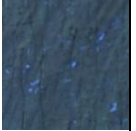

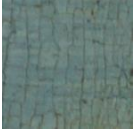
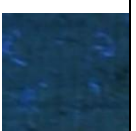
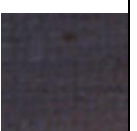

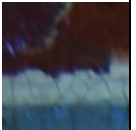


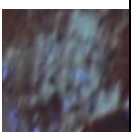

ΜΕΤΡΗΣΗ pXRF	ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ ΟΡΑΤΟ	ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ UV	ΕΓΧΡΩΜΗ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΤΗΚΑΝ ΣΤΟ pXRF	ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ
1	Περιφερειακή ταινία  (Καστανό προς μαύρο)			Pb, Fe, Si, Ca, S, K, Ti, Ni, Zn, Al, Sn, Sr, Rh	Μαύρο του άνθρακα, ενδεχομένως σε ανάμιξη με γαιώδη χρωστική
	Άλλη εικόνα από στερεοσκόπιο: 				
2	Περιφερειακή ταινία  (Πορτοκαλί)			Pb, Fe, Ca, Si, K, Ti, Al, S, Ni, Zn, Cd, Sn, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου, κίτρινη γαιώδης χρωστική, κίτρινο του καδμίου, ίσως μίνιο
3	Περιφερειακή ταινία 			Pb, Fe, Sr, Ca, Al, S, K, Ti, Ni, Zn, Hg, Cd, Sn, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου

	(Λευκή)				
	Άλλη εικόνα από στερεοσκόπιο: 				
4	Σύννεφο  (Απαλό κίτρινο προς λευκό)			Pb, Ca, Fe, Si, Ni, Zn, Hg, Cd, Ti, S, Sn, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου, vermilion, κίτρινο του καδμίου, ίσως κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου
5	Ουρανός  (Γαλάζιο σκούρο)			Pb, Ca, Fe, Si, Ni, Zn, Al, P, S, K, Ti, Cd, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου και μάλλον πρωσικό κυανό / βιβιανίτης (<i>blue ochre</i>)
6	Μάρτυρας  (Κυανό κάτω από οξειδωμένο επικαλυπτικό)			Pb, Ca, Fe, Si, Ni, Zn, Al, P, S, K, Ti, Hg, Cd, Sr, Rh	Αντίστοιχο με το #5 Λευκό του μολύβδου και πρωσικό κυανό / βιβιανίτης (<i>blue ochre</i>)
7	Φωτοστέφανο  (Χρυσό)			Ca, Pb, Fe, Au, Si, Ag, Zn, Al, K, Ti, Ni, Cu, Sr, Rh	Φύλλο χρυσού (κράμα Au, Ag, Zn, Cu) Ενδεχομένως ελαιώδες πρόστυμμα
	Άλλη εικόνα από στερεοσκόπιο: 				
8	Κάπα  (Κόκκινο)			Pb, Hg, Ca, S, Fe, Si, K, Ti, Ni, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου και vermilion
9	Θώρακας  (Χρυσό)			Ca, Au, Fe, Pb, Si, Ag, Zn, Al, K, Ti, Ni, Cu, Sr, Rh	Φύλλο χρυσού (κράμα Au, Ag, Zn, Cu)

	<p>Άλλη εικόνα από στερεοσκόπιο:</p> 				
10	<p>Προπλασμός (ένδυμα αγγέλου)</p>  <p>(Κυανό-ιώδες)</p>			<p>Pb, Hg, Ca, Fe, Ni, Al, Si, S, K, Ti, Zn, Cd, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, ινδικό, vermilion</p> <p>Κίτρινο του καδμίου και κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου τύπος II (ενδεχομένως από το υποκείμενο στρώμα)</p>
11	<p>Κάπα αγγέλου</p>  <p>(Κόκκινο σκούρο)</p>			<p>Pb, Hg, Ca, Fe, Ni, S, Al, Si, K, Ti, Cd, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, vermilion, πιθανώς λάκα</p> <p>Κίτρινο του καδμίου, ίσως κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου (ενδεχομένως από το υποκείμενο στρώμα)</p>
12	<p>Κάπα αγγέλου</p>  <p>(Κόκκινο-ροζ στο φώτισμα)</p>			<p>Pb, Hg, Ca, Fe, Ni, S, Al, Si, K, Ti, Cd, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, vermilion</p> <p>Κίτρινο του καδμίου, ίσως κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου (ενδεχομένως από το υποκείμενο στρώμα)</p>
13	<p>Προπλασμός στο πρόσωπο του αγίου</p>  <p>(Καστανό)</p>			<p>Pb, Fe, Hg, Ca, Si, Ni, Al, P, S, K, Ti, Cr, Zn, Cd, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Μαύρο του άνθρακα</p> <p>Λευκό του μολύβδου, vermilion, κίτρινο του καδμίου, ίσως κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου (από το υποκείμενο στρώμα)</p>
14	<p>Πρόσωπο του αγίου (σάρκωμα)</p>  <p>(Χρώμα του δέρματος)</p>			<p>Pb, Hg, Fe, Ca, Si, Ni, S, Ti, Cd, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, vermilion, κίτρινο του καδμίου, ίσως κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου</p>
15	<p>Ένδυμα αγίου στο μανίκι (γράψιμο)</p>  <p>(Κυανό-ιώδες)</p>			<p>Pb, Ca, Hg, Fe, Al, Si, P, S, K, Ti, Mn, Ni, Zn, Ba, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, ινδικό και vermilion</p>

16	Ένδυμα αγίου στο μανίκι (φώτισμα)  (Κυανό φωτεινό)			Pb, Hg, Ca, Fe, Al, Si, P, S, K, Ti, Mn, Ni, Zn, Ba, Sr, Rh	Συγκριτικά με το #5: περισσότερο λευκό του Pb, περισσότερο κιννάναρη, πολύ λιγότερο ινδικό
	Άλλη εικόνα από στερεοσκόπιο: 				
17	Ένδυμα κάτω από τον θώρακα  (Κυανό-ιώδες ανοιχτό)			Pb, Ca, Hg, Fe, Al, Si, P, S, K, Ti, Mn, Ni, Zn, Ba, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου, ινδικό και vermilion
18	Ένδυμα κάτω από τον θώρακα  (Κυανό-ιώδες σκούρο)			Pb, Ca, Hg, Si, K, Ti, Fe, Al, P, S, Mn, Ni, Zn, Ba, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου, ινδικό και vermilion
Άλλη εικόνα από στερεοσκόπιο: 					
19	Σέλα  (Κίτρινο)			Pb, Fe, Ca, Hg, Si, Ni, Al, K, Ti, Cr, Cd, Sn, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου, vermilion, κίτρινη γαιώδης χρωστική
20	Ένδυμα αγίου  (Λευκό)			Pb, S, Ca, Fe, Ni, Al, K, Hg, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου και μικρή ποσότητα ινδικού
21	Όρος  (Κυανό προς ιώδες)			Pb, Ca, Fe, Hg, Al, Si, P, K, Ti, Ni, Zn, Cd, Sn, Ba, Sr, Rh	Ινδικό, πρωσικό κυανό / βιβιανίτης (<i>blue ochre</i>), vermilion

	<p>Ορατή απεικόνιση, έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση και ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης περιοχών με ινδικό:</p> 				
22	<p>Λίμνη</p>  <p>(Κυανό)</p>			<p>Pb, Fe, Ca, Si, Hg, Al, P, K, Ti, Ni, Zn, Cd, Sn, Ba, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, vermilion, πρωσικό κυανό / βιβιανίτης (<i>blue ochre</i>), ίσως μαύρο του άνθρακα</p>
23	<p>Φυτά</p>  <p>(Κυανό-πράσινο)</p>			<p>Pb, Fe, Ca, Hg, Si, K, Ti, Ni, Al, P, S, K, Cr, Zn, Cd, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, πρωσικό κυανό / βιβιανίτης (<i>blue ochre</i>), vermilion, κίτρινο του καδμίου, ίσως κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου, μαύρο του άνθρακα</p>
24	<p>Έδαφος</p>  <p>(Καστανό-κίτρινο ανοιχτό)</p>			<p>Pb, Fe, Ca, Hg, Si, Al, S, K, Ti, Ni, Cd, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, vermilion, κίτρινο του καδμίου, πιθανώς κίτρινη γαιώδης χρωστική, ίσως κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου</p>
25	<p>Φτερά δράκου</p>  <p>(Κόκκινο σκούρο)</p>			<p>Pb, Ca, Hg, S, Fe, Al, Si, P, K, Ti, Ni, Cd, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Vermilion, λευκό του μολύβδου, πιθανώς λάκα, πιθανώς μαύρο του άνθρακα, κίτρινο του καδμίου, ίσως κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου</p>
26	<p>Σώμα δράκου</p>  <p>(Καστανό-κίτρινο)</p>			<p>Pb, Fe, Hg, Si, Ca, Al, S, K, Ti, Mn, Ni, Zn, Cd, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Vermilion, λευκό του μολύβδου, κίτρινη γαιώδης χρωστική, κίτρινο/πορτοκαλί του καδμίου, πιθανώς κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου</p>
27	<p>Ουρά αλόγου</p>  <p>(Φαιό)</p>			<p>Pb, Ca, Fe, Si, S, K, Ni, Hg, Cd, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, πιθανόν μαύρο του άνθρακα, μικρή ποσότητα κίτρινου του καδμίου, vermilion, ίσως κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου</p>
28	<p>Έδαφος</p>  <p>(Πράσινο)</p>			<p>Pb, Ca, Fe, Si, Ni, P, S, K, Ti, Hg, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, πρωσικό κυανό / βιβιανίτης, κίτρινο του καδμίου, ίσως κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου, πράσινη γαία</p>
	Άλλες εικόνες από το στερεοσκόπιο:				

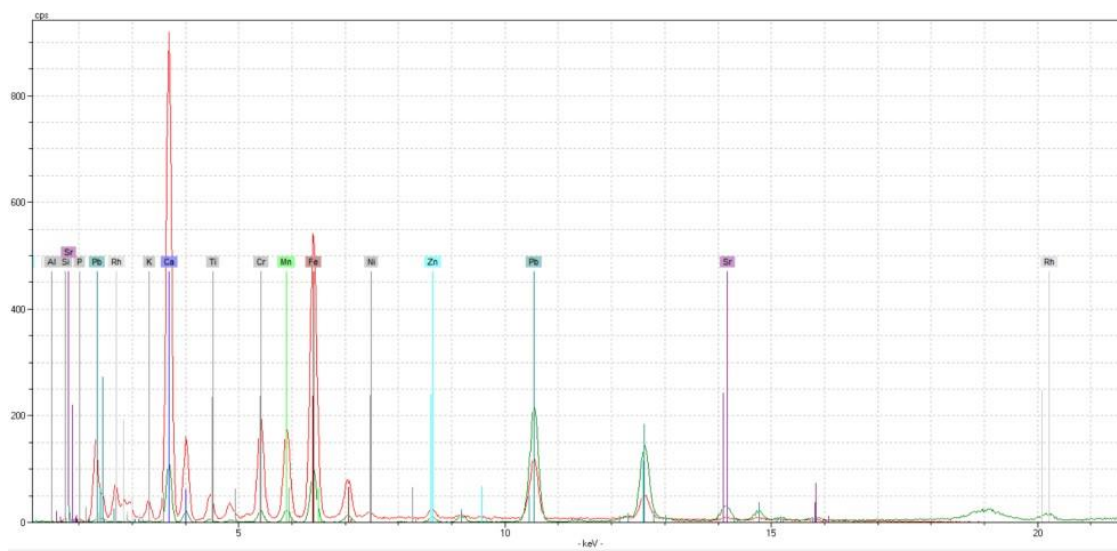
					
29	<p>Σώμα αλόγου (Λευκό.φαιό)</p> 			Pb , Ca, Fe, Si, S, K, Ni, Hg, Cd, Sn, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου, πιθανόν μαύρο του άνθρακα, μικρή ποσότητα κίτρινου του καδμίου, vermilion , ίσως κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου
30	<p>Λίμνη (Γαλάζιο ανοιχτό)</p> 			Pb , Fe, Ca, Si, Al, P, K, Ti, Cr, Ni, Zn, Cd, Sn, Ba, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου, πρωσικό κυανό / βιβιανίτης (<i>blue ochre</i>)
31	<p>Περιφερειακή ταινία (υποκείμενο στρώμα) (Πορτοκαλί)</p> 			Pb , Fe, Ca, Si, K, Ti, Al, S, Ni, Zn, Cd, Sn, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου, κίτρινη γαιώδης χρωστική, κίτρινο του καδμίου
32	<p>Υπόλειμμα προετοιμασίας (Υπόλευκο)</p> 			Ca , Pb, S, Fe, Zn, Si, K, Cr, Mn, Al, Ti, Ni, Sr, Rh	Γύψος και λευκό του μολύβδου

Πίνακας 1: Συγκενρωτικά αποτελέσματα για το αντικείμενο Α.

Αντικείμενο Β

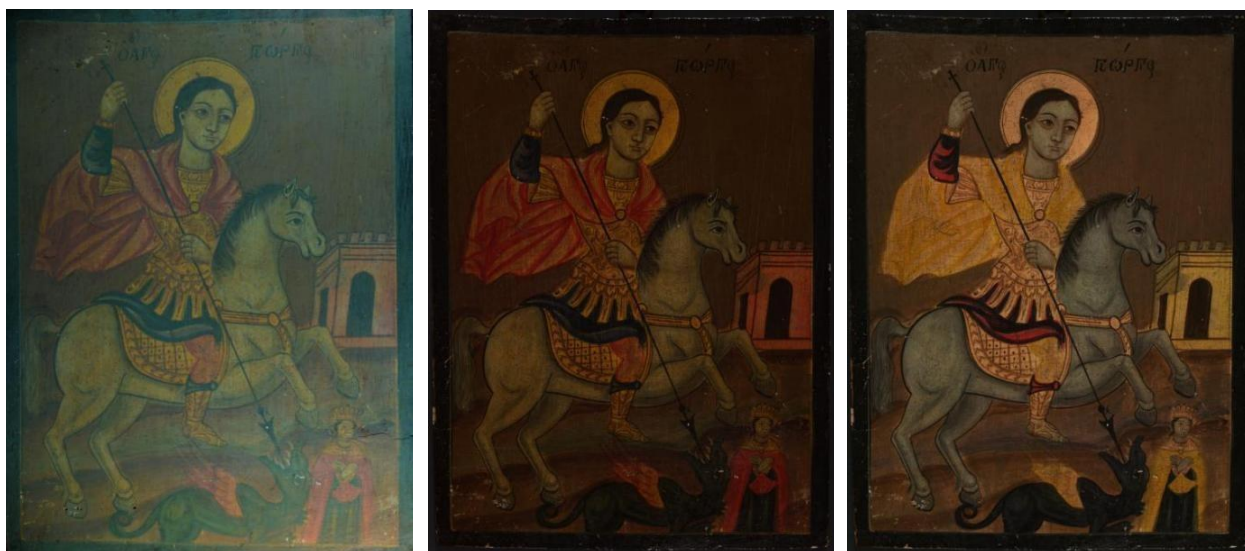
Συγκρίνοντας όλα τα φάσματα του αντικειμένου Β, διαπιστώνεται πως υπάρχει σε όλα αρκετό Ca, Fe, και μικρές ποσότητες Si, P, K, Pb και Ni. Το πιο πιθανό είναι πως αυτά τα στοιχεία ανήκουν στην προετοιμασία της εικόνας ή και στο συνδετικό υλικό. Το υλικό της προετοιμασίας κατά πάσα πιθανότητα είναι ανθρακικό ασβέστιο.

Το σημείο 1 βρίσκεται στον κάμπο και το σχετικό φάσμα παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλές κορυφές Ca, Fe, Pb, Cr, Mn, μεσαίας έντασης κορυφές K, Ti, Zn, Sr και μικρές κορυφές Al, Si, P, Ni (εικόνα 45). Τα στοιχεία Fe, Mn, Ca, Al, Si, Ni⁴³ παραπέμπουν σε όμπρα (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5). Το καστανό-πράσινο λανθασμένο χρώμα συνάδει με αυτή την ταυτοποίηση (Moon *et al* 1992, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020), ενώ η σταδιακή αύξηση ανακλαστικότητας από τα 600nm και εξής επιτρέπει αντιστοίχιση της χρωστικής με ψημένη, συγκεκριμένα, όμπρα (Picollo *et al* 2020). Επίσης η μεγάλη ποσότητα Pb και Cr κατά πάσα πιθανότητα υποδεικνύει την ανάμιξη κίτρινου του χρωμίου. Στη βιβλιογραφία (Feller 2012) αναφέρεται πως συχνά στα κίτρινα του χρωμίου προσθέτονταν ποσότητα γύψου (CaSO₄), προκειμένου να ρυθμιστεί η τονικότητα της χρωστικής. Ενδεχομένως από εκεί να προκύπτει η πολύ υψηλή κορυφή Ca. Το σημείο 1 θα μπορούσε επίσης να περιέχει και κίτρινο του ψευδαργύρου, λόγω των K, Zn και Cr. Ωστόσο εξετάζοντας συνολικά τα φάσματα, σχεδόν σε όλα υπάρχει αυτό το μικρό ποσοστό K, ενώ ο Zn προκύπτει στην προκειμένη περίπτωση μάλλον από το λευκό του ψευδαργύρου.



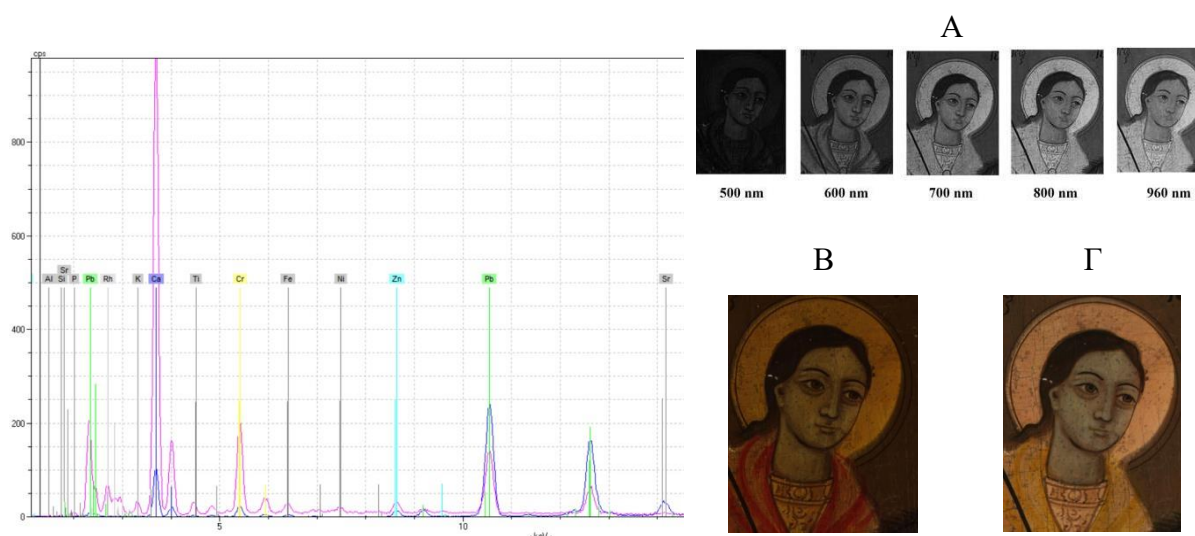
Εικόνα 45: Φάσμα XRF από την περιοχή του κάμπου (σημείο 1).

⁴³ Τα Ca, Si, Ni λαμβάνονται υπόψη, αν και μικρές κορυφές, γιατί είναι σε μεγαλύτερα ποσοστά από ό,τι σε άλλα σημεία (λ.χ. λευκό αλόγου) όπου κατά πάσα πιθανότητα ανήκουν στην προετοιμασία.



Εικόνα 46: Αντικείμενο Β: Υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού, έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό φάσμα με την MuSIS™ HS και έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση (λανθασμένα χρώματα) με την MuSIS™ HS.

Η μέτρηση 2 έχει ληφθεί στο φωτοστέφανο του Αγίου Γεωργίου. Οι μεγάλες κορυφές Pb και Cr υποδεικνύουν πως έχει χρησιμοποιηθεί κίτρινο του χρωμίου. Αντίστοιχο φάσμα παρουσιάζει και το σημείο 7, το οποίο έχει ληφθεί στην περιοχή του θώρακα. Τα λανθασμένα χρώματα των δύο σημείων είναι επίσης όμοια, με μία ανοιχτή κίτρινη προς λευκή απόχρωση (εικόνα 46). Το λανθασμένο χρώμα συνάδει με το κίτρινο του χρωμίου, αλλά δεν είναι χαρακτηριστικό, καθώς πολλές κίτρινες χρωστικές παρουσιάζουν αντίστοιχες αποχρώσεις (Art&Maps 2020). Στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης βλέπουμε αύξηση της ανακλαστικότητας στα 600nm, στοιχείο που επίσης παραπέμπει σε κίτρινο του χρωμίου (Picollo *et al* 2020) (εικόνα 47).



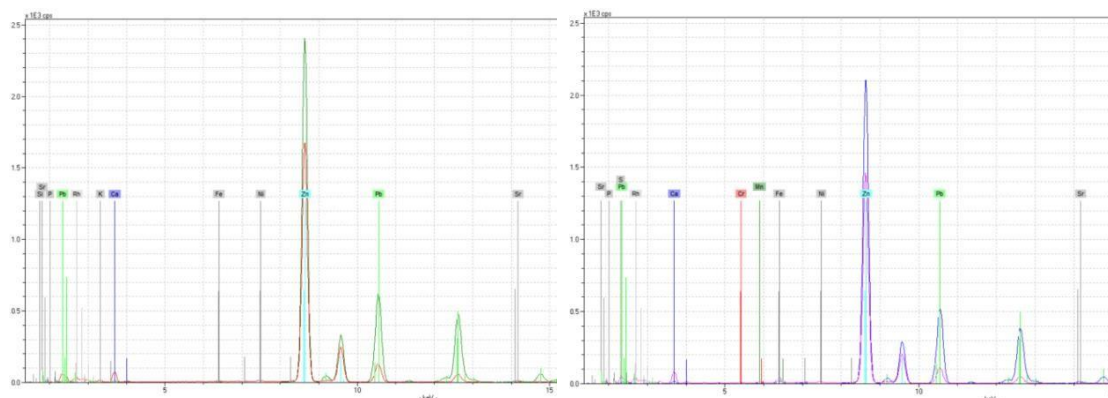
Εικόνα 47: Αριστερά το φάσμα XRF και δεξιά (Α) οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης, (Β) το χρώμα στο ορατό και (Γ) το λανθασμένο χρώμα των σημείων 2 και 7 (κίτρινο του χρωμίου).

Η μέτρηση 28 έχει ληφθεί επάνω στον καστανοκόκκινο διάκοσμο της σέλας, η οποία σε όλες τις απεικονίσεις φαίνεται να φέρει την ίδια κίτρινη χρωστική με τον θώρακα. Πράγματι, το φάσμα 28 έχει μεγάλες κορυφές Pb και Cr, που υποδηλώνουν κίτρινο του χρωμίου. Επίσης μεγάλες είναι και οι κορυφές Ca, Mn και Fe, επομένως ο διάκοσμος της σέλας κατά πάσα πιθανότητα έχει αποδοθεί με όμπρα (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5).



Εικόνα 48: Πολυφασματικές απεικονίσεις ανάκλασης της εικόνας Β που λήφθηκαν με την MuSIS™ HS στις φασματικές ζώνες 440nm, 500nm, 600nm, 700nm, 800nm και 960nm.

Το σημείο 13 ήταν από τα πρώτα που εξετάστηκε, καθώς βρίσκεται στον λαιμό του αλόγου, την πιο λευκή περιοχή της σύνθεσης. Επομένως από αυτή τη μέτρηση μπορεί να ταυτοποιηθεί με ασφάλεια η λευκή χρωστική που έχει χρησιμοποιηθεί στην εικόνα, και η οποία είναι αναμενόμενο να εντοπιστεί σε ανάμιξη με τις υπόλοιπες χρωστικές. Από το φάσμα 13 καθίσταται σαφές πως έχει χρησιμοποιηθεί λευκό του ψευδαργύρου, ενώ εντοπίζονται και σχετικά μεγάλες κορυφές μολύβδου (εικόνα 49). Ενδεχομένως το συγκεκριμένο λευκό του ψευδαργύρου να περιέχει και ποσότητα λευκού του μολύβδου. Ένα άλλο σημείο όπου έχει ταυτοποιηθεί μεγάλη ποσότητα λευκού του ψευδαργύρου ταυτόχρονα με κορυφές μολύβδου είναι το 9, το οποίο βρίσκεται στο φώτισμα στο πρόσωπο του αγίου (εικόνα 49). Εκτός από Zn και Pb, εντοπίζονται επίσης μικρές κορυφές Ca, Fe, Mn και μικρότερες Ti και Cr. Πολύ πιθανό στην περιοχή να υπάρχει επίσης μικρή ποσότητα σιένας ή όμπρας (βλ. και Πίνακας 5) και κίτρινου του χρωμίου.

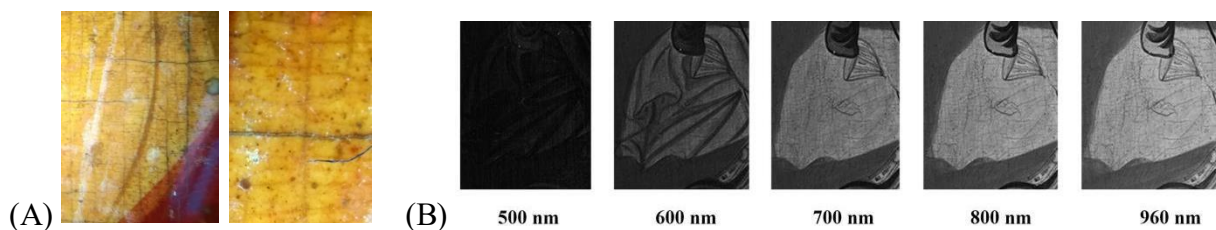


Εικόνα 49: Συγκριτική παράθεση του φάσματος 13 από το λαιμό του αλόγου (αριστερά) και του φάσματος 9 από το φώτισμα στο πρόσωπο του αγίου (δεξιά).

Τα σημεία 5 και 6 βρίσκονται στην κάπα του αγίου και είναι κόκκινου χρώματος. Η μέτρηση 5 έχει ληφθεί επάνω στο περίγραμμα των πτυχώσεων, όπου η απόχρωση είναι κόκκινη σκούρα, ενώ το 6 σε ένα φώτισμα του μανδύα, με απόχρωση κόκκινο ανοιχτό προς πορτοκαλί. Στο σημείο 5 εντοπίζονται πολύ μεγάλες κορυφές Pb, σημαντικές κορυφές Ca, Ba, και μικρότερες κορυφές Br, S και Zn. Ο Pb παραπέμπει στην κόκκινη χρωστική μίνιο ή στην κίτρινη χρωστική μάσσικοτ, ενώ ο Zn σε λευκό του ψευδαργύρου. Τα υψηλά Ca, Ba και το S πολύ πιθανόν να υποδεικνύουν τη χρήση λάκας, καθώς τόσο το θεικό ασβέστιο (CaSO_4) όσο και το θεικό βάριο (BaSO_4) αποτελούσαν συχνά ανόργανα προστύματα λακών (βλ. “Χρήσιμη ορολογία”). Το λανθασμένο χρώμα, το οποίο στο σημείο 5 είναι πορτοκαλί, όπως και η αύξηση ανακλαστικότητας στα 600nm, ταιριάζουν με τα βιβλιογραφικά στοιχεία για διάφορες κόκκινες λάκες (Matteini *et al* 1978, Moon *et al* 1992, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Cosentino 2014, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020, Picollo *et al* 2020, CHSOS). Το φάσμα του σημείου 6 είναι αντίστοιχο, με τη διαφορά πως έχει αρκετά λιγότερο Ca, αρκετά περισσότερο Ba, περισσότερο Zn και Pb. Το λανθασμένο χρώμα της περιοχής είναι κίτρινο και όχι πορτοκαλί, ενώ οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης δείχνουν μια αμυδρή αύξηση ανακλαστικότητας από τα 500nm (εικόνα 50). Είναι δύσκολο να καταλήξουμε σε ένα οριστικό συμπέρασμα χωρίς μεθόδους αναλυτικής διερεύνησης οργανικών χρωστικών. Ωστόσο, βάσει των παραπάνω πορισμάτων, μπορούμε να εικάσουμε την παρουσία μιας ανόργανης χρωστικής με περιεκτικότητα σε μόλυβδο (μίνιο ή μάσσικοτ) και τουλάχιστον μίας λάκας. Εξάλλου στην ασπρόμαυρη απεικόνιση ανάκλασης οι γραμμές των πτυχώσεων έχουν εξαφανιστεί (δηλ. έχουν καταστεί διαπερατές στο IR, βλ. Εικόνα 10) από τη φασματική ζώνη των 700nm και μετά, ενώ ο υπόλοιπος μανδύας όχι. Επομένως κατά πάσα πιθανότητα πρόκειται για διαφορετικά υλικά. Στο φάσμα 5 διαπιστώθηκε μεγαλύτερη ποσότητα Ca, επομένως είναι πιθανό να έχει εφαρμοστεί στα περιγράμματα των πτυχώσεων, επάνω από το χρωματικό στρώμα μινίου ή μάσσικοτ, μία λάκα⁴⁴ με πρόστυμμα θεικό ασβέστιο. Αντίθετα στο σημείο 6, όπου έχουμε περισσότερο λευκό του ψευδαργύρου και μίνιο/μάσσικοτ, το Ca είναι λιγότερο αλλά το Ba περισσότερο. Πολύ πιθανόν η μολυβδούχος χρωστική να έχει εφαρμοστεί σε μίξη με κάποια διαφορετική λάκα, με πρόστυμμα θεικό βάριο. Σημειώνεται πως κατά τον Feller (2012), το μίνιο μπορούσε να βρεθεί στην αγορά σε ανάμιξη με κόκκινες λάκες, που του προσέδιδαν πιο λαμπερό χρώμα. Μεταξύ μινίου και μάσσικοτ, το λανθασμένο χρώμα και οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης παραπέμπουν περισσότερο σε μίνιο (Cosentino 2014, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020, Picollo *et al* 2020, CHSOS). Δεν μπορούμε όμως να είμαστε απολύτως σίγουροι, γιατί πιθανόν χωρίς την προσθήκη των λακών τα πορίσματα να ήταν

⁴⁴ Πιθανώς πρόκειται για ζωική λάκα (καρμίνη), καθώς σημειώνεται λίγο αυξημένος P. Μεγαλύτερα ποσοστά P είναι πιθανό να υποδεικνύουν χρήση φυσικής βαφής από έντομα, κέρμη ή κοχενίλη (Μαστροθεόδωρος 2016).

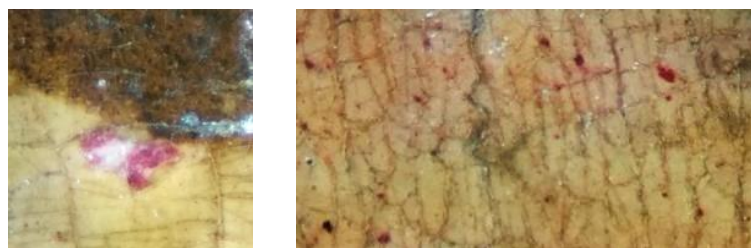
διαφορετικά. Τέλος, η παρουσία Br στα φάσματα XRF δεν αποκλείεται να συνδέεται με κόκκινη λάκα εωσίνης (*geranium lake*, βλ. και “Συζήτηση: Εικόνα Β”).



Εικόνα 50: (Α) Διάσπαρτοι κόκκινοι κόκκοι χρωστικής στην περιοχή της κάπας, (Β) ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης τις περιοχής, όπου φαίνεται πως οι γραμμές των πτυχώσεων έχουν καταστεί διαπερατές από τη φασματική ζώνη των 700nm και μετά, ενώ ο υπόλοιπος μανδύας όχι.

Αντίστοιχα με τα σημεία 5 και 6 είναι τα σημεία 24 και 25, που βρίσκονται στα φτερά του δράκου. Και τα δύο εμφανίζουν πολύ μεγάλες κορυφές Pb, σημαντικές κορυφές Ca, Ba, και μικρότερες κορυφές Br, S και Zn. Το 24 είναι πιο φωτεινό, με μεγαλύτερες κορυφές Zn, Pb και Ba. Το 25 βρίσκεται στα περιγράμματα των φτερών, είναι πιο σκούρο κόκκινο και δείχνει μεγαλύτερη κορυφή Ca. Κατά πάσα πιθανότητα πρόκειται για όμοια χρήση των ίδιων χρωστικών που αναλύθηκαν παραπάνω.

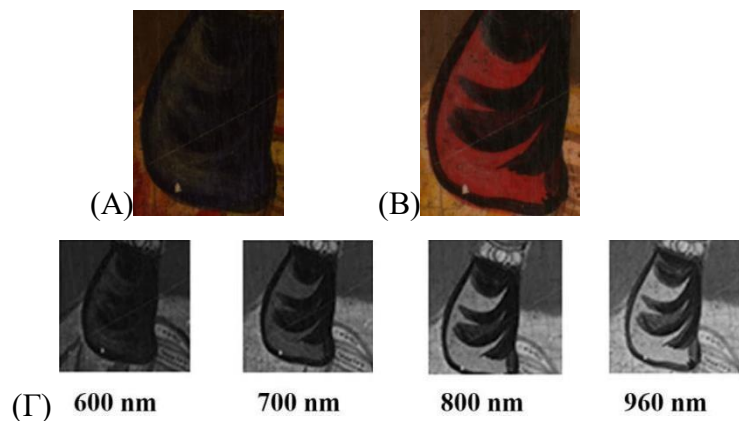
Τα σημεία 14 και 15 βρίσκονται στο κτίριο, δεξιά στο βάθος. Η μέτρηση 14 έχει ληφθεί στην πιο σκούρα περιοχή, ενώ η 15 στην πιο φωτεινή. Και στα δύο φάσματα εμφανίζονται μεγάλες κορυφές Zn, Pb και Ca, ενώ δεν υπάρχει Br. Ο Zn είναι και στις δύο περιπτώσεις αρκετά περισσότερος από τον Pb, σε αναλογία αντίστοιχη με τα λευκά σημεία που εξετάστηκαν παραπάνω, επομένως κατά πάσα πιθανότητα πρόκειται για μεγάλη ποσότητα λευκού του ψευδαργύρου. Το Ca πιθανόν υποδηλώνει την παρουσία λάκας. Κατά τη στερεοσκοπική εξέταση φάνηκε πως η λάκα είναι ιώδους χρώματος, ενώ ο τρόπος με τον οποίο είναι διεσπαρμένοι οι κόκκοι υποδηλώνει ότι πιθανώς να έχει εφαρμοστεί πάνω από το λευκό του ψευδαργύρου ως λαζούρα (εικόνα 51).



Εικόνα 51: Διεσπαρμένοι κόκκοι ιώδους χρώματος επάνω στο λευκό του ψευδαργύρου, πιθανώς λάκα εφαρμοσμένη ως λαζούρα.

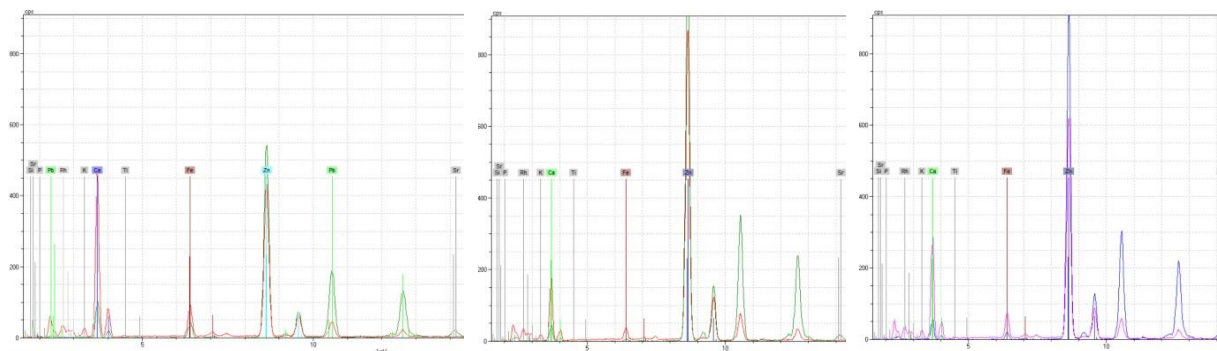
Τα σημεία 3 και 4 βρίσκονται στο κυανό ένδυμα του Αγίου Γεωργίου, στην περιοχή του βραχίονα. Το φάσμα 3, που λήφθηκε σε σκούρα κυανή περιοχή, εμφανίζει πολύ υψηλές κορυφές Zn, αρκετά υψηλές κορυφές Ca, Pb και σχετικά υψηλές κορυφές Fe. Ο Zn και ο Pb κατά πάσα πιθανότητα αντιστοιχούν στο λευκό του ψευδαργύρου. Ο Fe είναι πολύ πιθανό να παραπέμπει σε πρωσικό κυανό, κάτι με το οποίο συνάδει και το μαύρο προς κυανό λανθασμένο χρώμα (Matteini *et al* 1978, Moon *et al* 1992, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Cosentino 2014). Από τις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης φαίνεται πως η περιοχή επιδεικνύει μεγάλη απορροφητικότητα στην περιοχή του υπέρυθρου, κάτι που επίσης συνάδει με το πρωσικό κυανό (FitzHugh 2012, Picollo *et al* 2020). Επίσης γνωρίζουμε από την βιβλιογραφία (Gettens and Stout 1966, Eastaugh *et al* 2004, Kirby and Saunders 2004, FitzHugh 2012, Μαστροθεόδωρος 2016) πως η προσθήκη στο πρωσικό κυανό πληρωτικών υλικών, όπως το θειικό και ανθρακικό ασβέστιο, ήταν συνηθισμένη πρακτική. Αυτό εξηγεί ενδεχομένως την μεγάλη ποσότητα Ca που υπάρχει στο φάσμα 3.

Το σημείο 4 βρίσκεται κάτω από το 3, σε πιο ανοιχτή κυανή περιοχή. Στο φάσμα XRF διαπιστώνεται εξαιρετικά πολύς Zn, ενώ σε σχέση με το φάσμα 3, η ποσότητα των Ca και Fe έχει μειωθεί σημαντικά. Το κόκκινο λανθασμένο χρώμα παραπέμπει σε ινδικό (Moon *et al* 1992, Cosentino 2014, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020), όπως και οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης (Picollo *et al* 2020). Όσο η ακτινοβολία προχωρά προς το υπέρυθρο, η ανακλαστικότητα των αποχρώσεων που αντιστοιχούν στο φάσμα 4 αυξάνεται, ενώ η ανακλαστικότητα των αποχρώσεων που αντιστοιχούν στο φάσμα 3 μειώνεται (εικόνα 52). Οποσδήποτε λοιπόν έχουμε δύο διαφορετικές χρωστικές, είτε καθαρές είτε αναμεμιγμένες σε διαφορετικές ποσότητες. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το πρωσικό κυανό επιδεικνύει μεγάλη απορροφητικότητα στην περιοχή του υπέρυθρου, ενώ το ινδικό από περίπου τα 700nm και μετά παρουσιάζει όλο και μεγαλύτερη ανακλαστικότητα. Η ποσότητα του Zn στο φάσμα 4 είναι εξαιρετικά μεγάλη. Δεδομένου πως το ανόθευτο ινδικό έχει μια απόχρωση σχεδόν μαύρη, το πιο πιθανό είναι πως έχει προστεθεί αρκετή ποσότητα λευκού του Zn για να αποκτήσει την μπλε απόχρωση που βλέπουμε, είτε από την εταιρεία που διέθετε την χρωστική, είτε από τον αγιογράφο, είτε και τα δύο. Σημειώνεται πως και το πρωσικό κυανό διαθέτονταν στην αγορά σε ανάμιξη με λευκό του ψευδαργύρου (FitzHugh 2012). Παράλληλα, δεδομένου ότι σε όλα τα φάσματα υπάρχει μια μικρή ποσότητα Zn, δεν αποκλείεται να έχει προστεθεί λευκό του Zn στην προετοιμασία ή να έχει εφαρμοστεί σε ανάμιξη με άλλη χρωστική ως *imprimatura*. Το ινδικό αποτελείται από στοιχεία μικρού ατομικού αριθμού που δεν απορροφούν τις ακτίνες X, άρα ίσως σε αυτά τα σημεία τα φάσματα να αποδίδουν πιο έντονα τα υποκείμενα στρώματα.



Εικόνα 52: (Α) Έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό, (Β) έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση και (Γ) ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης, όπου φαίνεται η διάκριση του ινδικού (φωτεινές περιοχές) από το πρωσικό κυανό (σκοτεινές περιοχές).

Το σημείο 17 βρίσκεται στο κυανό ένδυμα του αγίου κάτω από τον θώρακα. Το φάσμα μοιάζει να κυμαίνεται μεταξύ των φασμάτων 3 και 4 (εικόνα 53). Τόσο στην έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση όσο και στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης φαίνεται πως κατά τόπους υπάρχει ινδικό, κατά τόπους πρωσικό κυανό και κατά τόπους έχει εφαρμοστεί η μία χρωστική επάνω στην άλλη. Συνοπτικά, το σημείο 17 φαίνεται να περιέχει πρωσικό κυανό, ινδικό και λευκό του ψευδαργύρου.



Εικόνα 53: Φάσματα XRF των σημείων 3, 4 και 17.

Τα σημεία 21, 22 και 23 βρίσκονται σε πράσινες περιοχές και είναι αρκετά όμοια μεταξύ τους. Το φάσμα 21, το οποίο έχει ληφθεί από την σκούρα πράσινη περιοχή στο πόδι του δράκου, εμφανίζει μεγάλες κορυφές Ca, Cr, Pb, Fe, και μικρότερη κορυφή Zn. Τα στοιχεία Ca και Fe, το σκούρο λανθασμένο χρώμα και η μεγάλη απορρόφηση στην περιοχή του υπέρυθρου υποδεικνύουν την παρουσία πρωσικού κυανού (εικόνα 54). Τα Cr και Pb πιθανόν ανήκουν σε κίτρινο του χρωμίου, και η μικρή ποσότητα Zn κατά πάσα πιθανότητα αντιστοιχεί σε λευκό του ψευδαργύρου. Το σημείο 23 βρίσκεται στην ανοιχτή πράσινη περιοχή στο πόδι του δράκου. Συγκριτικά με το φάσμα 21, εμφανίζει πολύ περισσότερο Zn και Pb, το οποίο προφανώς υποδηλώνει την ποσότητα λευκού του ψευδαργύρου που έχει προστεθεί για πιο ανοιχτή απόχρωση.

Το φάσμα του σημείου 22, το οποίο βρίσκεται στην σκούρα πράσινη περιοχή του ενδύματος της πριγκιποπούλας, είναι αντίστοιχο με το φάσμα 21. Όπως και εκεί, φαίνεται να έχουν χρησιμοποιηθεί πρωσικό κυανό, κίτρινο του χρωμίου και μικρή ποσότητα λευκού του ψευδαργύρου.



Εικόνα 54: Ασπρόμαυρη απεικόνιση ανάκλασης: Ίδιος βαθμός απορρόφησης της ακτινοβολίας της χρωστικής του δράκου και του ενδύματος της πριγκιποπούλας.

800 nm

Το σημείο 18 βρίσκεται σε μία περιοχή πάνω από το σκούρο καστανό έδαφος, η οποία φέρει μια απαλή πράσινη απόχρωση. Το φάσμα παρουσιάζει πολύ μεγάλες κορυφές Zn, μεγάλες κορυφές Ca, Pb, και μικρότερες κορυφές Fe, K, Cr, Mn. Ο Zn παραπέμπει σε λευκό του ψευδαργύρου. Τα στοιχεία Fe, Mn, Ca, K πιθανώς να υποδεικνύουν την παρουσία κάποιας όμπρας ή σιέννας (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5), ενώ τα Pb και Cr κατά πάσα πιθανότητα καταδεικνύουν τη χρήση κίτρινου του χρωμίου. Εφόσον εντοπίστηκε κίτρινη χρωστική, το αναμενόμενο για πράσινη απόχρωση είναι να υπάρχει και μια κυανή. Οι αναλογίες των στοιχείων στο φάσμα του pXRF δεν συνεισφέρουν πολύ στην ταυτοποίηση της κυανής χρωστικής, αλλά το λανθασμένο χρώμα και οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης παραπέμπουν μάλλον σε πρωσικό κυανό. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία των Fe, Mn, Ca, K δεν μπορεί να αποκλειστεί και η χρήση πράσινης γαίας (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5). Η έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση και οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης επίσης δεν μπορούν να εξασφαλίσουν ασφαλή ταυτοποίηση, καθώς η πράσινη γαία είναι και αυτή πολύ απορροφητική, και το λανθασμένο της χρώμα επίσης τείνει σε κυανό-μαύρο (Matteini *et al* 1978, Moon *et al* 1992, Cosentino 2014, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020, CHSOS).

Το σημείο 27 βρίσκεται στην εσωτερη περιφερειακή ταινία. Η ταινία μακροσκοπικά φαίνεται λευκή, αλλά στο στερεοσκόπιο έχει έναν κάπως γαλάζιο τόνο (εικόνα 55). Το φάσμα XRF παρουσιάζει μεγάλες κορυφές Zn και Pb, στην αναλογία που εντοπίστηκαν και στο σώμα του αλόγου, μεγάλη ποσότητα δηλαδή λευκού του ψευδαργύρου. Παράλληλα υπάρχουν μεγάλες κορυφές Ca, Fe, Mn και μικρότερες K και Cr. Κατά πάσα πιθανότητα πρόκειται για όμπρα (Fe, Mn, Ca, K, βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5) και κίτρινο του χρωμίου (Pb, Cr) από το υποκείμενο στρώμα του κάμπου. Δεδομένου πως στην έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση η ταινία τείνει μάλλον προς φαιές και όχι προς απαλές ροζ αποχρώσεις, εικάζεται ότι για τη γαλάζια απόχρωση έχει χρησιμοποιηθεί μικρή ποσότητα πρωσικού κυανού (Fe, Ca) και όχι ινδικό. Αντίστοιχη περίπτωση

αποτελεί και το σημείο 20, που βρίσκεται στην ουρά του αλόγου. Στο φάσμα εντοπίζονται στοιχειακές κορυφές που υποδεικνύουν εμπλοκή κυρίως λευκού του ψευδαργύρου και χρωστικών του κάμπου, ενώ στην στερεοσκοπική εξέταση εντοπίστηκε διασπορά κυανών κόκκων. Ενδεχομένως και εδώ πρόκειται για ένα αραιό στρώμα πρωσικού κυανού.



**Εικόνα 55: Η εσωτερη περιφερειακή ταινία
μακροσκοπικά φαίνεται λευκή, αλλά στο στερεοσκόπιο έχει γαλάζιο τόνο.**

Το σημείο 10 βρίσκεται στην εξώτερη καστανή-μαύρη περιφερειακή ταινία. Το φάσμα παρουσιάζει πολύ μεγάλες κορυφές Ca, Fe, μεγάλες κορυφές Pb και μικρότερες Cr, Mn. Μοιάζει αρκετά με το φάσμα 1, που έχει ληφθεί στην περιοχή του κάμπου, και δείχνει παρουσία όμπρας και κίτρινου του χρωμίου. Επομένως είναι πιθανό πως έχει εφαρμοστεί στην περιφερειακή ταινία μαύρο του άνθρακα (το οποίο δεν φαίνεται στο XRF) επάνω από το χρωματικό στρώμα του κάμπου. Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και με το σημείο 11, που έχει ληφθεί στο γράμμα “ω” της λέξης “Γεώργιος”. Αντίστοιχη περίπτωση αποτελούν τα σημεία 12 και 26. Στο σημείο 12 το αυτί του αλόγου είναι ζωγραφισμένο με μαύρο του άνθρακα⁴⁵, και το φάσμα δείχνει κυρίως λευκό του ψευδαργύρου από το σώμα του αλόγου. Αντίστοιχα στο σημείο 26 το δόρυ έχει αποδοθεί με μαύρο του άνθρακα, ενώ το φάσμα είναι αντίστοιχο με του σημείου 18, του πράσινου εδάφους (βλ. παραπάνω).

Το σημείο 8 έχει ληφθεί από την περιοχή της κόμης. Μακροσκοπικά η περιοχή έχει καστανό χρώμα, ενώ στο στερεοσκόπιο φαίνεται σαν να υπάρχει και μία στρώση πράσινου χρώματος, ίσως προπλασμός (εικόνα 56). Το φάσμα παρουσιάζει πολύ μεγάλες κορυφές Zn, μεγάλες κορυφές Ca, Fe, μικρότερες κορυφές Pb, Cr, Mn και μικρές κορυφές K και Ti. Ο Zn παραπέμπει σε λευκό του ψευδαργύρου. Τα στοιχεία Fe, Mn, Ca, K υποδεικνύουν μάλλον την παρουσία όμπρας (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5), ενώ τα Pb και Cr την χρήση κίτρινου του χρωμίου. Η ποσότητα του Zn είναι υπερβολικά μεγάλη για ένα τόσο σκούρο σημείο, ενώ ταυτόχρονα είναι ανάλογη με τα σημεία όπου έχουμε χρήση ινδικού. Πιθανόν το πράσινο που διαπιστώθηκε στην στερεοσκοπική εξέταση αποτελεί μίξη ινδικού με κίτρινο του χρωμίου.

⁴⁵ Σε σχέση με το φάσμα XRF του σημείου 13, η βασική διαφοροποίηση είναι πως έχουμε περισσότερο Ca. Λαμβάνοντας υπόψη την πειραματική κατασκευή και εξέταση διαφόρων μαύρων του άνθρακα από ποικίλες πρώτες ύλες στα πλαίσια παλαιότερης μελέτης (Μαστροθεόδωρος 2016), μπορούμε να εικάσουμε ότι η παρουσία Ca υποδεικνύει μαύρο του άνθρακα από οστά ή από κλάδους κλήματος. Αν η πρώτη ύλη ήταν οστά, θα παρατηρούνταν και αυξημένα ποσοστά P, επομένως δεν αποκλείεται να πρόκειται εδώ για μαύρο του άνθρακα από κλάδους κλήματος.



Εικόνα 56: Η περιοχή της κόμης φαίνεται στο στερεοσκόπιο σαν να υπάρχει και μία στρώση πράσινου χρώματος, ίσως προπλασμός.

Το σημείο 16 έχει ληφθεί στην μαύρη πύλη του κτιρίου στο βάθος δεξιά. Εμφανίζει πολύ μεγάλες κορυφές Zn, πιθανόν λευκό του ψευδαργύρου από το υποκείμενο στρώμα. Επίσης εμφανίζει κορυφές Fe, Mn και Ca μεγαλύτερες από το φάσμα του κτιρίου, άρα αυτές δεν ανήκουν σε υποκείμενο στρώμα. Κατά πάσα πιθανότητα λοιπόν η πύλη έχει αποδοθεί με χρήση όμπρας.

Τέλος το φάσμα 19 έχει ληφθεί στην περιοχή του καστανού εδάφους. Παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλες κορυφές ψευδαργύρου. Πέρα από την παρουσία λευκού του ψευδαργύρου, αυτό ίσως να συμβαίνει και γιατί το εξεταζόμενο σημείο βρίσκεται πολύ κοντά στην πράσινη περιοχή του εδάφους (βλ. παραπάνω). Εντοπίζονται επίσης υψηλές κορυφές Ca, Fe, Pb και μικρότερες K, Mn και Cr. Μπορούμε να καταλήξουμε στην παρουσία όμπρας (Fe, Mn, Ca), ενδεχομένως και κάποιας κίτρινης ή κόκκινης γαιώδους χρωστικής (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5), καθώς έχουμε αρκετά υψηλό Fe και στο ορατό η περιοχή φαίνεται να παρουσιάζει διάφορες κατά τύπους τονικές διαβαθμίσεις (σε αντίθεση λ.χ. με τον κάμπο). Το Cr και ο Pb υποδεικνύουν και χρήση κίτρινου του χρωμίου.

Συζήτηση: Εικόνα B

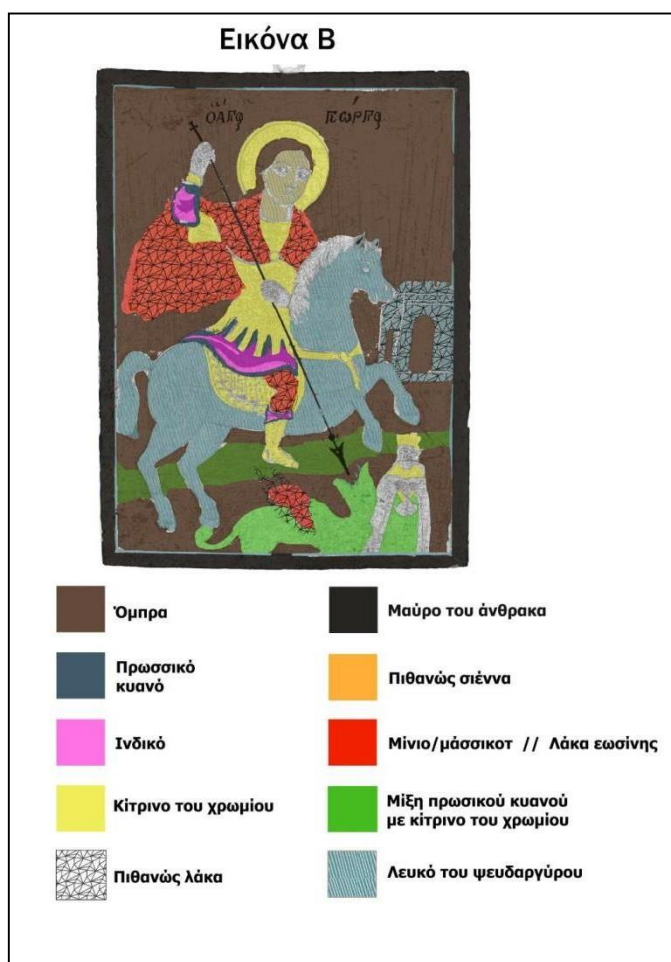
Στο πρόσωπο του Αγίου Γεωργίου εντοπίστηκαν λευκό του ψευδαργύρου και μικρές ποσότητες σιέννας ή όμπρας και κίτρινου του χρωμίου. Στην κόμη του αγίου έχουν χρησιμοποιηθεί όμπρα και κίτρινο του χρωμίου, και ενδεχομένως προπλασμός από μίξη ινδικού με κίτρινο του χρωμίου. Στα ενδύματα του αγίου εντοπίζονται μίξεις από λευκό του ψευδαργύρου, πρωσικό κυανό και ινδικό, στον θώρακα κίτρινο του χρωμίου, και στην κάπα μίξεις από λευκό του ψευδαργύρου, μίνιο/μάσσικοτ και τουλάχιστον μία κόκκινη λάκα. Για την απόδοση του ίππου έχει χρησιμοποιηθεί λευκό του ψευδαργύρου, μαύρο του άνθρακα και ενδεχομένως πρωσικό κυανό. Στο σώμα του δράκου εντοπίζεται μίξη πρωσικού κυανού με κίτρινο του χρωμίου και λευκό του ψευδαργύρου, ενώ στα φτερά μίξη λευκού του ψευδαργύρου, μίνιου/μάσσικοτ και τουλάχιστον μίας κόκκινης λάκα.

Εν κατακλείδι, οι χρωστικές που εντοπίστηκαν στην εικόνα Α περιλαμβάνουν λευκό του ψευδαργύρου, όμπρα, πιθανώς σιέννα και κίτρινη ή κόκκινη γαιώδη χρωστική, κίτρινο του χρωμίου, πρωσικό κυανό, ινδικό, μίνιο ή μάσσικοτ, τουλάχιστον μία κόκκινη λάκα (ενδεχομένως λάκα εωσίνης, βλ. παρακάτω), ιώδη λάκα και μαύρο του άνθρακα (εικόνα 57). Από αυτές, οι μόνες χρωστικές που δεν υπήρχαν διαθέσιμες πριν τον 19ο αι. είναι το λευκό του ψευδαργύρου, το κίτρινο του χρωμίου, το ινδικό στην περίπτωση που είναι συνθετικό και ενδεχομένως η ιώδης λάκα και η λάκα εωσίνης.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρουσία αρκετής ποσότητας Pb σε όλα τα φάσματα. Συχνά στις προετοιμασίες των εικόνων προσθέτονταν λευκές χρωστικές, ωστόσο στη συγκεκριμένη εικόνα έχει χρησιμοποιηθεί λευκό του ψευδαργύρου, όχι λευκό του μολύβδου. Πριν εξεταστούν ενδελεχώς όλα τα φάσματα, η υπόθεση που έγινε ήταν πως είτε η προετοιμασία του ξύλινου φορέα κατασκευάστηκε σε προηγούμενο χρόνο από τη ζωγραφική επιφάνεια, είτε ο αγιογράφος για κάποιο λόγο προτίμησε το λευκό του μολύβδου από το λευκό του ψευδαργύρου για αυτόν το σκοπό. Το λευκό του μολύβδου χρησιμοποιούνταν συχνά ως επιταχυντής ξήρανσης ελαιωδών μέσων (Roy 2012). Επομένως θα ήταν άξιο διερεύνησης το ενδεχόμενο η προετοιμασία της εικόνας Β να είναι ημι-απορροφητική, ή ίσως να φέρει ελαιώδη επίστρωση περιέχουσα λευκό του μολύβδου (*imprimatura*). Αφού εξετάστηκαν με μεγαλύτερη προσοχή τα φάσματα, και ειδικότερα των λευκών περιοχών, διαπιστώθηκε πως η αναλογία του μολύβδου προς τον ψευδάργυρο διατηρείται πάντα σχετικά σταθερή, και υπολογίζεται χονδρικά να είναι της τάξης περίπου του 25%. Γνωρίζουμε από την βιβλιογραφία (Feller 2012) πως ήταν αρκετά σύνηθες να διατίθενται στην αγορά χρωστικές λευκού του ψευδαργύρου με προσμίξεις λευκού του μολύβδου, οι οποίες, ανάλογα με την εκάστοτε ποιότητα, μπορούσαν να κυμαίνονται από 10% ως 55% ή ακόμη και 70%. Πιθανόν να πρόκειται και εδώ για μια τέτοια περίπτωση.

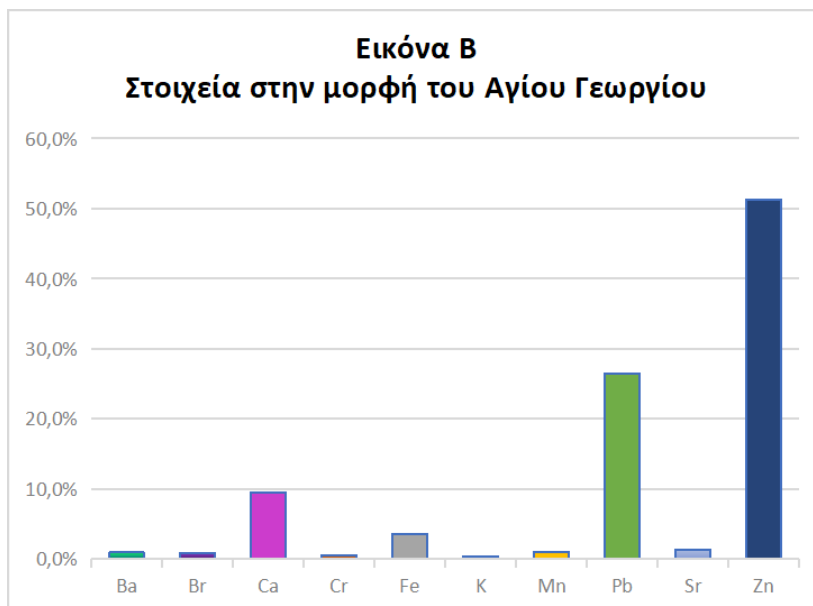
Στα φάσματα από την κάπα του Αγίου Γεωργίου και τα φτερά του δράκου (μετρήσεις 5, 6, 24, 25) έχει εντοπιστεί ποσότητα Br, η οποία δημιουργεί προβληματισμούς. Η κατεξοχήν οργανική βαφή με περιεκτικότητα σε Br είναι η πορφύρα, η οποία (όσο γνωρίζει η γράφουσα) δεν έχει ταυτοποιηθεί σε κάποια φορητή εικόνα σε ξύλινο υποστήριγμα (Cooksey 2013). Η φυσική πορφύρα αντικαταστάθηκε από συνθετική στις αρχές του 20^{ου} αι. Δεδομένου πως δεν έχουμε σαφή χρονολόγηση του αντικειμένου Β, θα μπορούσε να διερευνηθεί το ενδεχόμενο να πρόκειται για λάκα συνθετικής πορφύρας. Ωστόσο και αυτή η περίπτωση παρουσιάζει προβλήματα. Αν και με τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί, έχει γίνει η υπόθεση πως στις σκούρες και ανοιχτές περιοχές της κάπας και των φτερών έχει χρησιμοποιηθεί διαφορετική μίξη χρωστικών, ενδεχομένως με τη χρήση μάσσικοτ/μινίου και δύο διαφορετικών λακών σε διαφορετικές αναλογίες. Εν τούτοις η ποσότητα του Br κυμαίνεται ελάχιστα από φωτεινή σε σκοτεινή περιοχή, υπονοώντας πως μάλλον εμπεριέχεται στην μολυβδούχο χρωστική. Μία άλλη

ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι οι λάκες εωσίνης (*geranium lake*), με αποχρώσεις από βαθύ κόκκινο ως ανοιχτό ροζ, οι οποίες έκαναν την εμφάνισή τους το 1873. Η εωσίνη περιέχει βρώμιο, ενώ ένας από τους τρόπους παρασκευής των αντίστοιχων λακών περιλάμβανε την προσθήκη μολύβδου, ο οποίος συχνά προέκυπτε από τη χρήση μίνιου, αλλά πιθανώς και βαρίου. Αξιοποιώντας αυτή την πληροφορία συνδυαστικά με τα αποτελέσματα των μετρήσεων 5 και 6, δεν μπορούμε να αποκλείσουμε το ενδεχόμενο τόσο το Br και το Ba, όσο και ο Pb που ανιχνεύθηκαν να έχουν προκύψει από κάποια τέτοια ουσία, και όχι από μίνιο/μάσσικοτ. Η υπόθεση αυτή διατυπώνεται με μεγάλη επιφύλαξη, καθώς λάκες εωσίνης έχουν ως τώρα εντοπιστεί σε έργα πολύ διαφορετικής τεχνοτροπίας, καλλιτεχνών όπως του Van Gogh και του Gauguin (Townsend *et al* 1995, Anselmi *et al* 2017, Francesca *et al* 2020). Οπωσδήποτε απαιτούνται περαιτέρω διαγνωστικές εξετάσεις για τον σχηματισμό κάποιου ασφαλούς συμπεράσματος. Τέλος ένα άλλο στοιχείο που μπορεί να παρατεθεί, αν και δεν φέρει μεγάλη βαρύτητα, είναι ένα σύγχρονο τεχνικό εγχειρίδιο με πληροφορίες για το προϊόν *διβρωμιούχος μόλυβδος* (PbBr₂), το οποίο, σύμφωνα με το εγχειρίδιο, συμμετέχει στην παραγωγή της χρωστικής μάσσικοτ (βλ. “Παράρτημα”, Πίνακας 9).





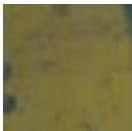
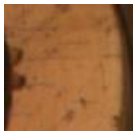

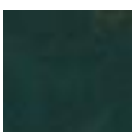


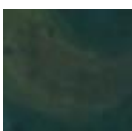
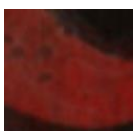






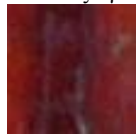


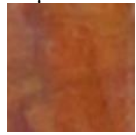

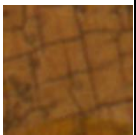
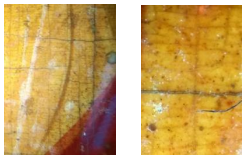
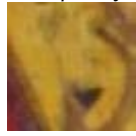



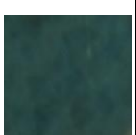
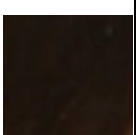



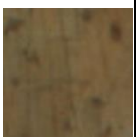
Όπως θα δειχθεί και παρακάτω (βλ. “Συζήτηση”), από τα τρία αντικείμενα προς εξέταση, η εικόνα Β επιδεικνύει την πιο εκτεταμένη χρήση νέων συνθετικών χρωστικών. Σε αυτά τα πλαίσια, η πιθανότητα παρουσίας μιας τόσο καινούριας συνθετικής οργανικής χρωστικής, όπως είναι οι λάκες εωσίνης, φέρει μεγάλη βαρύτητα, καθώς θα υποδείκνυε πως ο συγκεκριμένος αγιογράφος ήταν πράγματι διατεθειμένος να δοκιμάσει τις νέες διαθέσιμες ζωγραφικές ύλες.

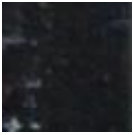









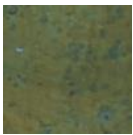

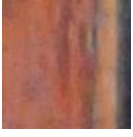
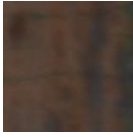

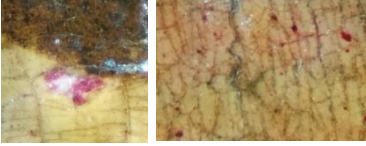



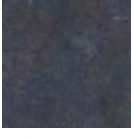

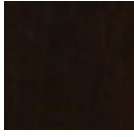
Εικόνα 57: Χαρτογράφηση του συνόλου των χρωστικών που εντοπίστηκαν στην εικόνα Β.




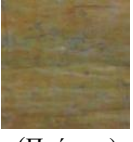
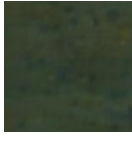
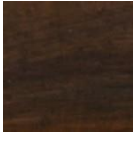

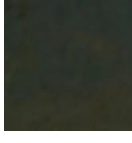


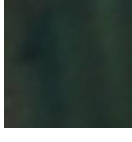
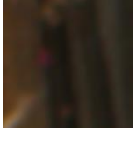


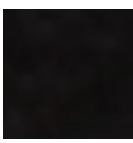

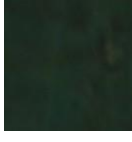
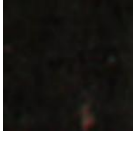

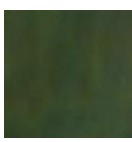
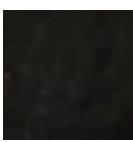



Εικόνα 58: Τα χημικά στοιχεία που εντοπίστηκαν με το pXRF στη μορφή του Αγίου Γεωργίου.

ΜΕΤΡΗΣΗ Η pXRF	ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ ΟΡΑΤΟ	ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ UV	ΕΓΧΡΩΜΗ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΤΗΚΑΝ ΣΤΟ pXRF	ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ
1	Κάμπος  (Καστανό)			Ca, Fe, Pb, Cr, Mn, K, Ti, Zn, Rh, Sr, Al, Si, P, Ni	Όμπρα, κίτρινο του χρωμίου, λευκό του ψευδαργύρου
2	Φωτοστέφανο  (Χρυσοκίτρινο)			Ca, Cr, Pb, Zn, K, Ti, Fe, Sr, Al, Si, Sr, P, Ni, Rh	Κίτρινο του χρωμίου
3	Ένδυμα αγίου  (Κυανό σκούρο)			Ca, Zn, Pb, Fe, Ni, Si, P, K, Sr, Ti(·), Cu(·), Rh	Πρωσικό κυανό και λευκό του ψευδαργύρου
4	Φώτισμα στο ένδυμα  (Κυανό φωτεινό)			Zn, Pb, Ca, Fe, Ni, K, Sr, Rh	Ινδικό και λευκό του ψευδαργύρου
Λεπτομέρεια από τις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης:					

						
	600 nm	700 nm	800 nm	960 nm		
5	Μανδύας αγίου  (Κόκκινο σκούρο)				Ca, Pb, Ba, S, Fe, Zn, P, K, Br, Sr, Rh	Μίνιο / μάσσικοτ, κόκκινη/-ες λάκα/-ες και λευκό του ψευδαργύρου
6	Φώτισμα στο μανδύα  (Κόκκινο φωτεινό)				Pb, Ba, Ca, S, Fe, Ni, Zn, Br, Sr, Si, P, K, Rh	Μίνιο / μάσσικοτ, κόκκινη/-ες λάκα/-ες και λευκό του ψευδαργύρου
	Άλλες εικόνες από το στερεοσκόπιο: 					
7	Θώρακας  (Χρυσοκίτρινο)				Ca, Pb, Cr, Al, Si, P, K, Ti, Fe, Ni, Zn, Sr, Rh	Κίτρινο του χρωμίου
8	Κόμη  (Καστανό σκούρο)				Zn, Ca, Fe, Pb, Cr, Mn, K, Ti, Rh, Sr, Al, Si, P, Ni	Όμπρα, κίτρινο του χρωμίου, ινδικό και λευκό του ψευδαργύρου.
	Άλλη εικόνα από το στερεοσκόπιο: 					
9	Φώτισμα στο πρόσωπο  (Απόχρωση του δέρματος)				Zn, Pb, Ca, Fe, Sr, P, K, Ti, Cr, Mn, Ni, Rh	Λευκό του ψευδαργύρου, όμπρα/σιέννα και ίσως κίτρινο του χρωμίου

10	<p>Περιφερειακή ταινία</p>  <p>(Καστανό προς μαύρο)</p>			Pb, Ca, Cr, Mn, Fe, K, Ti, Zn, Ni, Si, Sr, P, Rh	Μαύρο του άνθρακα
11	<p>Γράμμα “ω”</p>  <p>(Μαύρο)</p>			Pb, Ca, Fe, Cr, Mn, Zn, K, Ti, Si, Sr, P, S, Ni, Rh	Μαύρο του άνθρακα
12	<p>Αυτί του αλόγου</p>  <p>(Μαύρο)</p>			Zn, Pb, Ca, K, Fe, Ni, Rh, Al, Si, P, Sr	Λευκό του ψευδαργύρου και κατά πάσα πιθανότητα μαύρο του άνθρακα
13	<p>Λαιμός του αλόγου</p>  <p>(Λευκό)</p>			Zn, Pb, Ca, S, Si, P, K, Fe, Ni, Sr, Rh	Λευκό του ψευδαργύρου
14	<p>Κτίριο στο βάθος</p>  <p>(Πορτοκαλί προς ροζ, σκούρο)</p>			Pb, Ca, Zn, K, Fe, Ni, Si, P, Mn, Sr, Rh	Λευκό του ψευδαργύρου και ιώδης λάκα
	<p>Άλλες εικόνες από το στερεοσκόπιο:</p> 				
15	<p>Κτίριο στο βάθος (φώτισμα)</p>  <p>(Πορτοκαλί προς ροζ, φωτεινό)</p>			Pb, Ca, Zn, K, Fe, Ni, P, Mn, Sr, Rh	Λευκό του ψευδαργύρου και ιώδης λάκα
16	<p>Πύλη κτιρίου</p>  <p>(Μαύρο)</p>			Ca, Mn, Fe, Zn, Pb, K, Ti, Ni, Si, Sr, P, Rh	Όμπρα και λευκό του ψευδαργύρου

17	Ένδυμα κάτω από τον θώρακα  (Κυανό σκούρο)			Ca, Zn, Pb, Fe, Ni, Si, P, K, Sr, Ti, Rh	Πρωσικό κυανό, ινδικό και λευκό του ψευδαργύρου.
18	Έδαφος  (Πράσινο)			Zn, Ca, Pb, Fe, K, Cr, Mn, Al, Si, P, Ni, Sr, Ti, Rh	Λευκό του ψευδαργύρου, όμπρα, κίτρινο του χρωμίου, ενδεχομένως κάποια κίτρινη ή κόκκινη γαιώδης χρωστική, πρωσικό κυανό, ίσως πράσινη γαία
19	Έδαφος  (Καστανό)			Zn, Ca, Fe, Pb, Mn, K, Cr, Si, P, Ni, Sr, Ti, Rh	Λευκό του ψευδαργύρου, όμπρα, κίτρινο του χρωμίου, ενδεχομένως κάποια κίτρινη/ κόκκινη γαιώδης χρωστική
20	Ουρά αλόγου  (Φαιό - γαλάζιο)			Zn, Ca, Pb, K, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Si, P, S, Cu, Sr, Rh	Λευκό του ψευδαργύρου και πιθανόν πρωσικό κυανό Όμπρα και κίτρινο του χρωμίου (υποκείμενο χρωματικό στρώμα)
21	Πόδι δράκου  (Πράσινο σκούρο)			Ca, Cr, Pb, Fe, Zn, K, Ti, Sr, Rh	Πρωσικό κυανό, κίτρινο του χρωμίου και λευκό του ψευδαργύρου
22	Ένδυμα πριγκιποπούλας  (Πράσινο σκούρο)			Ca, Fe, Pb, K, Ti, Cr, Zn, Si, P, Ni, Sr, Rh	Πρωσικό κυανό, κίτρινο του χρωμίου και λευκό του ψευδαργύρου
23	Πόδι δράκου  (Πράσινο ανοιχτό)			Ca, Zn, Pb, Fe, Cr, K, Ti, Sr, Rh	Πρωσικό κυανό, κίτρινο του χρωμίου και λευκό του ψευδαργύρου
	Ασπρμούαρη απεικόνιση ανάκλασης (800nm):  <small>800 nm</small>				

24	<p>Φτερά δράκου</p> <p>(Κόκκινο-φωτεινό)</p>			Pb, Ca, Ba, Zn, Fe, K, Br, Ni, Si, P, Sr, Rh	Μίνιο / μάζσικот, κόκκινη/-ες λάκα/-ες και λευκό του ψευδαργύρου
25	<p>Φτερά δράκου</p> <p>(Κόκκινο σκούρο)</p>			Pb, Ca, Ba, Fe, Zn, K, Br, Ni, Si, P, Sr, Rh	Μίνιο / μάζσικот, κόκκινη/-ες λάκα/-ες και λευκό του ψευδαργύρου
26	<p>Δόρυ</p> <p>(Μαύρο)</p>			Zn, Ca, Pb, Fe, K, Cr, Mn, Al, Si, P, Ni, Sr, Ti, Rh	Κατά πάσα πιθανότητα μαύρο του άνθρακα
27	<p>Λεπτή περιφερειακή ταινία</p> <p>(Λευκό-γαλάζιο)</p>			Zn, Pb, Ca, Fe, Mn, S, Si, Sr, P, K, Ti, Ni, Rh, Cr(:)	Λευκό του ψευδαργύρου και μικρή ποσότητα πρωσικού κυανού Όμπρα και κίτρινο του χρωμίου (υποκείμενο χρωματικό στρώμα)
	<p>Άλλη εικόνα από στερεοσκόπιο:</p>				
28	<p>Διάκοσμος σέλας αλόγου</p> <p>(Καστανο-κόκκινο)</p>			Ca, Pb, Cr, Mn, Fe, Si, Sr, P, Rh, K, Ti, Ni, Zn	Όμπρα Κίτρινο του χρωμίου (υποκείμενο χρωματικό στρώμα)

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για το αντικείμενο Β.

Αντικείμενο Γ

Κατά τη μακροσκοπική εξέταση του αντικειμένου Γ διαπιστώθηκε στο πλαϊνό τμήμα του ξύλινου φορέα μία λευκή κηλίδα με σημαντικό πάχος και τραχιά επιφάνεια, προφανώς υλικό της προετοιμασίας που διέρρευσε κατά την εφαρμογή του υποστρώματος στην κύρια όψη. Δεδομένου πως, όπως προαναφέρθηκε, τα στοιχεία της προετοιμασίας κατά πάσα πιθανότητα εμφανίζονται σε όλες τις μετρήσεις που λαμβάνονται από τη ζωγραφική επιφάνεια, κρίθηκε σκόπιμη η λήψη ενός φάσματος XRF και από την περιοχή της κηλίδας. Πρόκειται για τη μέτρηση 22, η οποία εμφανίζει πολύ μεγάλες κορυφές Ca, σημαντική κορυφή S και μικρότερες κορυφές K, Ni, Fe, Si και Al. Κατά πάσα πιθανότητα πρόκειται για απορροφητική προετοιμασία αποτελούμενη από θεικό ασβέστιο και κάποια συγκολλητική ουσία (πιθανόν ζωική).



Εικόνα 59: Αντικείμενο Γ: Υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού, έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό φάσμα με την MuSIS™ HS και έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση (λανθασμένα χρώματα) με την MuSIS™ HS.

Το σημείο 2 βρίσκεται στην περιοχή του κάμπου. Το φάσμα εμφανίζει πολύ μεγάλες κορυφές Fe, Ca, μεγάλες κορυφές Pb, μικρότερες Cr, Mn και μικρές κορυφές K, Ti, και S. Η παρουσία Fe, Mn, Al, Si και K παραπέμπει σε όμπρα (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5). Το σκούρο καστανό-φαιό λανθασμένο χρώμα και η σταδιακή αύξηση ανακλαστικότητας από τα 600nm και εξής συνάδουν με αυτή την ταυτοποίηση (Moon *et al* 1992, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020, Picollo *et al* 2020) (εικόνα 61). Τα Pb και Cr καταδεικνύουν τη χρήση κίτρινου του χρωμίου, ενώ ο Pb πολύ πιθανόν να περιέχεται και σε ποσότητα λευκού του μολύβδου το οποίο, όπως θα δειχθεί και παρακάτω, αποτελεί τη λευκή χρωστική που έχει χρησιμοποιήσει ο αγιογράφος. Πολύ όμοιο με το σημείο 2 είναι το φάσμα του σημείου 25, το οποίο έχει ληφθεί στο καστανοπράσινο έδαφος. Το φάσμα 25 εμφανίζει κάπως λιγότερο Pb, επομένως ίσως ο κάμπος αποτελείται από μίξη όμπρας

και κίτρινου του χρωμίου με λευκό του μολύβδου, ενώ το έδαφος περιέχει λιγότερο ή και καθόλου λευκό. Η μακροσκοπική παρατήρηση καθιστά σαφές πως το έδαφος αποτελεί χρωματικό στρώμα υπερκείμενο του κάμπου (βλ. εικόνα 60), άρα είναι πιθανό ο Pb που εμφανίζεται στο φάσμα να ανήκει μόνο στο υποκείμενο στρώμα. Τέλος, δεν αποκλείεται στην περιοχή του εδάφους να έχει προστεθεί και ποσότητα μαύρου του άνθρακα.



Εικόνα 60: Το καστανό ανοιχτό τρίγωνο στο χρώμα του κάμπου ανάμεσα στο πόδι του αλόγου και τα φτερά του δράκου δείχνει πως το έδαφος αποτελεί χρωματικό στρώμα υπερκείμενο του κάμπου



Εικόνα 61: Πολυφασματικές απεικονίσεις ανάκλασης της εικόνας Γ που λήφθηκαν με την MuSIS™ HS στις φασματικές ζώνες 460nm, 500nm, 600nm, 700nm, 800nm και 940nm.

Η μέτρηση 1 έχει ληφθεί στην σκούρα καστανή-μαύρη περιφερειακή ταινία που περιτρέχει τη σύνθεση. Το φάσμα XRF είναι αντίστοιχο με του σημείου 2, με τη διαφορά πως οι κορυφές όλων των στοιχείων εκτός από του Pb είναι μικρότερες. Ο Pb δεν σχετίζεται με καμία σκούρα χρωστική, επομένως ίσως κάτω από τα ζωγραφικά στρώματα του κάμπου και της μαύρης ταινίας να είχε εφαρμοστεί ένα πρώτο πιο αραιό στρώμα λευκού του μολύβδου με μικρές ποσότητες όμπρας και κίτρινου του χρωμίου. Πέρα από αυτή την πιθανότητα, υπάρχει και ένα άλλο ενδεχόμενο. Κατά την στερεοσκοπική εξέταση διαπιστώθηκε πως σε ορισμένα σημεία –αλλά όχι σε όλα–, κάτω από τη μαύρη ταινία διαφαίνεται ένα πορτοκαλοκόκκινο χρωματικό στρώμα, το οποίο μάλιστα σε κάποια σημεία εκτείνεται λίγο και επάνω στο στρώμα του κάμπου (βλ. Εικόνα 62). Δεν αποκλείεται λοιπόν ο καλλιτέχνης σε πρώτη φάση να είχε σχεδιάσει την περιφερειακή ταινία με κάποια πορτοκαλοκόκκινη μολυβδούχο χρωστική, πιθανόν μίνιο, την οποία εν τέλει επικάλυψε με το μαύρο στρώμα που βλέπουμε. Η μαύρη αυτή χρωστική κατά πάσα πιθανότητα

αποτελεί μαύρο του άνθρακα. Στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης η περιοχή υποδεικνύει μεγάλη απορροφητικότητα σε όλες τις φασματικές ζώνες, στοιχείο που συνάδει με μαύρο του άνθρακα (Cosentino *et al* 2014, Picollo *et al* 2020), όπως και το μαύρο λανθασμένο χρώμα (Matteini *et al* 1978, Moon *et al* 1992, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020).



Εικόνα 62: Κάτω από τη μαύρη ταινία διαφαίνεται το πορτοκαλοκόκκινο χρωματικό στρώμα, το οποίο σε κάποια σημεία εκτείνεται και επάνω στο στρώμα του κάμπου.

Τα φάσματα 3, 15 και 16 έχουν ληφθεί σε περιοχές όπου φαίνεται να έχουμε παρουσία χρυσίζουσας ύλης, και είναι αρκετά όμοια μεταξύ τους (εικόνα 63). Το σημείο 3 βρίσκεται στο φωτοστέφανο, το σημείο 15 στον θώρακα του αγίου και το σημείο 16 στη σέλα του αλόγου. Και στα τρία φάσματα, κυρίαρχο στοιχείο είναι το Ca⁴⁶, και ακολουθούν Cu, Zn και Pb. Στη στερεοσκοπική εξέταση διαπιστώθηκε αφενός πως πρόκειται για κονία, αφετέρου πως κάτω από αυτήν υπάρχει ένα λευκό στρώμα. Η χρυσίζουσα ύλη κατά πάσα πιθανότητα αποτελεί κονία κράματος χαλκού-ψευδαργύρου, δηλαδή ορείχαλκου –που όμως στους αγιογραφικούς κύκλους έχει καταλήξει να αποκαλείται μπρουτζίνα. Τέτοιου είδους χρωστικές κάνουν την εμφάνισή τους από τα μέσα του 19^{ου} αι. και εξής (Gulotta *et al* 2012). Η μέτρηση 17 έχει ληφθεί στον μαύρο διάκοσμο της σέλας, ένα μαύρο χρωματικό στρώμα εφαρμοσμένο επάνω στην χρυσή κονία. Συγκριτικά με το φάσμα του σημείου 16, το σημείο 17 παρουσιάζει πολύ πιο μεγάλες κορυφές Fe, Si, Pb και σχετικά πιο μεγάλες κορυφές Al, P, S, Ti, Cr, Mn. Τα στοιχεία Pb, Cr και Mn πιθανώς έχουν προκύψει από το λευκό σώμα του αλόγου (βλ. παρακάτω), το οποίο βρίσκεται πολύ κοντά και ενδεχομένως υπόκειται του εξεταζόμενου στρώματος. Η παρουσία των στοιχείων Fe, S, Si, Al και P μάλλον παραπέμπει στη χρήση μαύρου του άνθρακα (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5). Η μεγάλη απορροφητικότητα στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης και το μαύρο λανθασμένο

⁴⁶ Για την ακρίβεια, όλα τα φάσματα που έχουν ληφθεί από σημεία με χρυσό χρώμα έχουν εξαιρετικά υψηλές κορυφές Ca, μεγαλύτερες από κάθε άλλη περιοχή, ακόμη και από το σημείο της προετοιμασίας. Στη στερεοσκοπική εξέταση διαπιστώθηκε πως κάτω από την κονία υπάρχει ένα λευκό στρώμα, στο οποίο διακρίνεται σαφώς δίκτυο ρωγματούσεων. Το στρώμα αυτό κατά πάσα πιθανότητα διαφέρει από το υπόστρωμα που έχει εφαρμοστεί στην υπόλοιπη ζωγραφική επιφάνεια, καθώς το φάσμα που λήφθηκε από την κηλίδα της προετοιμασίας (βλ. σημείο 22) δεν περιέχει Pb, και παράλληλα εμφανίζει μικρότερες κορυφές Ca. Στη βιβλιογραφία (Gulotta *et al* 2012) αναφέρεται πως οι μεταλλικές κονιές επικολλούνταν στη ζωγραφική επιφάνεια είτε αναμεμιγμένες σε συνδετικό υλικό, είτε με το να εφαρμόζονται μέσω πίεσης σε εύπλαστα υποστρώματα, λ.χ. κερί. Ίσως στην προκειμένη ο αγιογράφος να πέρασε ένα δεύτερο στρώμα προετοιμασίας στην περιοχή του φωτοστέφανου –πιθανόν ανθρακικό/θειικό ασβέστιο και λευκό του μολύβδου σε συγκολλητική ουσία– και πριν αυτό στερεοποιηθεί, προσάρμοσε στην περιοχή την μεταλλική κονία.

χρώμα επιβεβαιώνουν την υπόθεση.



Εικόνα 63: Χρυσίζουσα κονία από την περιοχή του φωτοστέφανου.

Η μέτρηση 4 έχει ληφθεί στο πρόσωπο του Αγίου Γεωργίου, σε σημείο φωτίσματος. Η επικρατέστερη κορυφή που φαίνεται στο φάσμα είναι Pb, υποδηλώνοντας λευκό του μολύβδου. Παράλληλα εντοπίζονται μικρές κορυφές Ca, Fe, Ni, K και μικρότερες Cr, Mn, Cd. Ενδεχομένως να έχουν αναμιχθεί μαζί με το λευκό του μολύβδου μικρές ποσότητες σιέννας (Fe, Mn, Ca, Ni, K, Si, βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5), κίτρινου του χρωμίου (Pb, Cr) και κίτρινου του καδμίου (Cd).

Το σημείο 5 βρίσκεται στο λαιμό του αγίου, στην περιοχή του προπλασμού. Από το φάσμα προκύπτει πως υπάρχει πολύ μεγάλη ποσότητα Pb και σημαντική ποσότητα Fe, Ca, ένα ποσοστό Mn και αρκετά μικρή περιεκτικότητα σε Cr, Cd, Cu και Zn. Τα στοιχεία Fe και Mn, σε συνδυασμό με το σκούρο καστανό-φαιό λανθασμένο χρώμα και τη σταδιακή αύξηση ανακλαστικότητας από τα 600nm και εξής παραπέμπουν σε όμπρα (Moon *et al* 1992, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020, Picollo *et al* 2020, βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5). Ο Pb, το Cr και το Cd εντοπίζονται σχεδόν σε ίδια ποσότητα με το φάσμα 4. Τυπικά, ο προπλασμός αποτελεί το πρώτο χρωματικό στρώμα, το οποίο υπόκειται όλων. Ωστόσο στην προκειμένη περίπτωση, η στερεοσκοπική εξέταση έδειξε πως πιθανόν να έχουν εφαρμοστεί δύο διαδοχικές στρώσεις της χρωστικής του προπλασμού, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται ένα χρωματικό στρώμα όμοιο με του προσώπου (βλ. Εικόνα 64). Είναι λοιπόν πολύ πιθανόν το λευκό του μολύβδου (Pb), κίτρινο του χρωμίου (Pb, Cr) και το κίτρινο του καδμίου (Cd) που προέκυψαν από το φάσμα να ανήκουν στο υποκείμενο χρωματικό στρώμα του προσώπου. Τέλος οι μικρές κορυφές Cu και Zn κατά πάσα πιθανότητα έχουν προκύψει από την μπρουτζίνα του φωτοστέφανου.



Εικόνα 64: Περιοχή του προπλασμού στον λαιμό του Αγίου Γεωργίου. Διακρίνονται δύο διαφορετικές περιοχές της καστανής χρωστικής, μια πιο ανοιχτή, πιθανώς υποκείμενη ενός χρωματικού στρώματος αντίστοιχου με του προσώπου, και μία πιο σκούρα, που φαίνεται να είναι το τελευταίο χρωματικό στρώμα που εφαρμόστηκε.

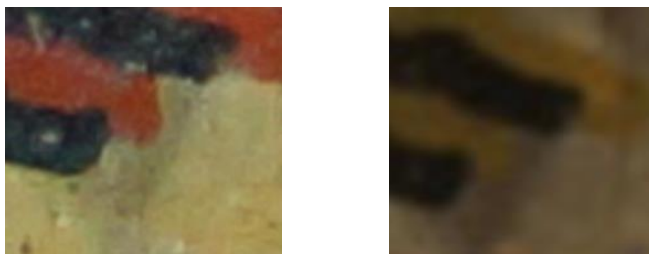
Η μέτρηση 6 έχει ληφθεί στην κόμη του αγίου. Στο φάσμα εμφανίζεται πολύ μεγάλη κορυφή Ca, μεγάλες κορυφές Fe, Pb και μικρότερες κορυφές Cr, Mn, Zn και Cu. Η μεγάλη συγκέντρωση Ca, καθώς και οι κορυφές Zn και Cu κατά πάσα πιθανότητα προέρχονται από το υποκείμενο στρώμα της μεταλλικής κονίας στο φωτοστέφανο. Ο Pb υποδεικνύει την παρουσία λευκού του μολύβδου, τα στοιχεία Fe και Mn παραπέμπουν στη χρήση όμπρας, ενώ τα Pb και Cr σε κίτρινο του χρωμίου. Κατά την μακροσκοπική και στερεοσκοπική παρατήρηση διαπιστώθηκε πως το καστανό της κόμης έχει αποδοθεί με τη διαδοχική απόθεση δύο χρωματικών στρωμάτων (βλ. Εικόνα 65). Το πρώτο, που διαφαίνεται σε κάποια μόνο σημεία, είναι η όμπρα, κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται από το σκούρο καστανό-φαιό λανθασμένο χρώμα και τη σταδιακή αύξηση ανακλαστικότητας από τα 600nm και εξής (Moon *et al* 1992, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020, Picollo *et al* 2020). Πιθανόν η όμπρα έχει αναμιχθεί με κίτρινο του χρωμίου. Το δεύτερο χρωματικό στρώμα έχει εφαρμοστεί επάνω από το πρώτο, σχεδόν καλύπτοντάς το. Κρίνοντας από τη μεγάλη απορροφητικότητα σε όλες τις φασματικές ζώνες και το μαύρο λανθασμένο χρώμα, πρόκειται για μαύρο του άνθρακα (Matteini *et al* 1978, Moon *et al* 1992, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020, Picollo *et al* 2020).



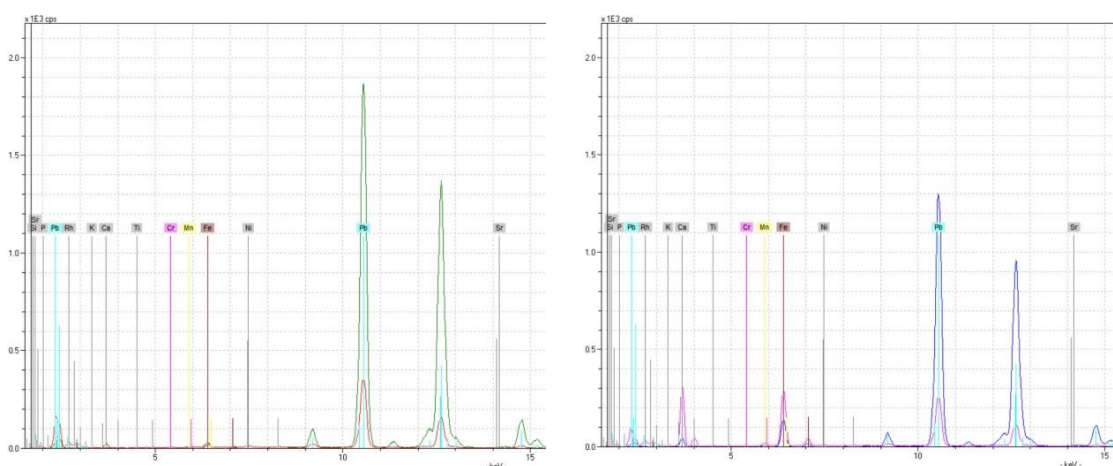
Εικόνα 65: Τα δύο χρωματικά στρώματα που αποδίδουν την κόμη.

Το σημείο 7 βρίσκεται στα χείλη του αγίου. Στο φάσμα φαίνεται πως το κυρίαρχο στοιχείο είναι ο Pb και δευτερευόντως τα Ca και Fe. Σε μικρές ποσότητες εντοπίζονται Mn, Ni και σε ακόμη μικρότερες Cr και Cd. Το κίτρινο του χρωμίου (Pb, Cr) και το κίτρινο του καδμίου (Cd) μάλλον ανήκουν στο υποκείμενο χρωματικό στρώμα του προσώπου. Η μεγάλη ποσότητα Pb, πέρα από λευκό του μολύβδου στο ίδιο ή το υποκείμενο στρώμα, πιθανόν να καταδεικνύει και την παρουσία μίνιου. Βέβαια οι κορυφές του Pb είναι αντίστοιχες με του σημείου 4 (φώτισμα προσώπου), ενώ αν υπήρχαν μολυβδούχοι χρωστικές και στο στρώμα προς διερεύνηση και στο υποκείμενο, λογικά οι κορυφές του Pb θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερες (εικόνα 67). Κατά τη στερεοσκοπική αλλά και τη μακροσκοπική παρατήρηση διαπιστώνεται πως κάτω από τα χείλη υπάρχει ένα στρώμα προπλασμού (βλ. Εικόνα 66). Πολύ πιθανό η παρουσία Fe και Mn να παραπέμπει στην όμπρα αυτού του υποκείμενου στρώματος. Ταυτόχρονα, ο Fe θα μπορούσε να έχει προκύψει και από κάποια κόκκινη γαιώδη χρωστική στα χείλη. Τέλος, η μεγάλη ποσότητα

Ca δεν αποκλείεται να καταδεικνύει τη χρήση κόκκινης λάκας, καθώς οι ασβεστιτικές ύλες χρησιμοποιούνταν αρκετά ως ανόργανα προστύμματα λακών (βλ. “Χρήσιμη ορολογία”). Οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης δεν αποδείχθηκαν βοηθητικές στην ταυτοποίηση της κόκκινης χρωστικής. Το πορτοκαλί-καστανό λανθασμένο χρώμα παραπέμπει μάλλον σε λάκα καρμίνας (Matteini *et al* 1978, Cosentino 2014, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020) (εικόνα 66).



Εικόνα 66: Έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό (αριστερά) και έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση (δεξιά) της περιοχής των χειλιών. Στο δεξί άκρο διακρίνεται ένας πιο σκούρος τόνος, που ίσως υποδεικνύει υποκείμενο στρώμα προπλασμού.



Εικόνα 67: Συγκριτική παράθεση του φάσματος 4 από το φώτισμα του προσώπου (αριστερά) και του φάσματος 7 από τα κόκκινα χείλη (δεξιά).

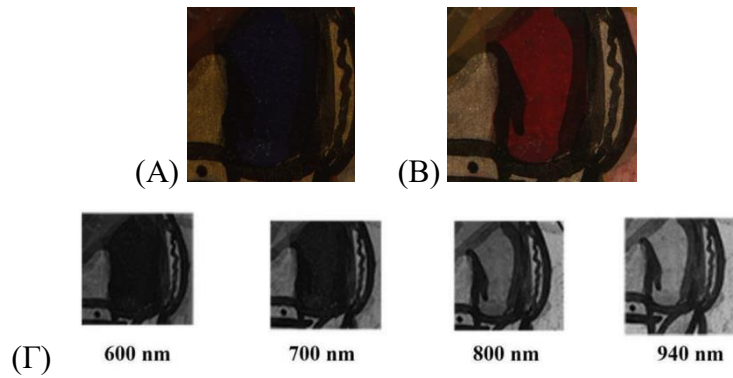
Τα σημεία 8 και 9 βρίσκονται στην κάπα του Αγίου Γεωργίου. Το φάσμα 8 έχει ληφθεί στην σκούρα κόκκινη περιοχή των πτυχώσεων, ενώ το 9 στην πιο φωτεινή περιοχή. Τα φάσματα των δύο σημείων είναι αρκετά αντίστοιχα. Και τα δύο παρουσιάζουν πολύ υψηλές κορυφές Ca και Fe, και υψηλή κορυφή S⁴⁷. Ο Fe πιθανότατα παραπέμπει σε κόκκινη γαιώδη χρωστική, ενώ

⁴⁷ Τα σημεία 8 και 9 περιέχουν ελάχιστο μόλυβδο, επομένως η υψηλή κορυφή στα 2,32keV αντιστοιχεί στο θείο. Αποκλείεται να έχουμε σε κάθε σημείο της εικόνας αντίστοιχη ποσότητα θείου την οποία δεν αντιλαμβανόμαστε εξαιτίας του μολύβδου, γιατί το θείο στο φάσμα 22 (προετοιμασία) είναι εμφανώς λιγότερο.

τα Ca και S σε κάποια κόκκινη λάκα⁴⁸ (CaSO₄ ως πρόστυμμα). Το σημείο 8 φαίνεται να περιέχει κάπως περισσότερη γαιώδη χρωστική, ενώ το σημείο 9 λίγο περισσότερη λάκα. Το πορτοκαλί-καστανό λανθασμένο χρώμα και πάλι παραπέμπει περισσότερο σε λάκα. Τέλος, κρίνοντας από την πολύ πιο σκούρα απόχρωση, τόσο στο ορατό όσο και στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση, στα σημεία των γραμμικών πτυχώσεων πιθανότατα έχει προστεθεί και μαύρο του άνθρακα. Πολύ όμοια με τα σημεία 8 και 9 είναι τα φάσματα, τα λανθασμένα χρώματα και οι απεικονίσεις ανάκλασης των σημείων 18 και 19, που βρίσκονται στα φτερά του δράκου. Το φάσμα 18 έχει ληφθεί στις σκούρες κόκκινες γραμμές, ενώ το 19 στην πιο φωτεινή κόκκινη περιοχή των φτερών. Και στα δύο σημεία φαίνεται να έχουν χρησιμοποιηθεί κόκκινη γαιώδης χρωστική και κόκκινη λάκα, ενώ και εδώ στις σκούρες γραμμές μάλλον έχει προστεθεί μαύρο του άνθρακα. Το φάσμα 10 επίσης εμφανίζει κορυφές που παραπέμπουν σε κόκκινη γαιώδη χρωστική και κόκκινη λάκα, όπως και αντίστοιχο πορτοκαλί λανθασμένο χρώμα. Η μέτρηση 10 έχει ληφθεί στο κόκκινο χαλινάρι, επάνω στο λευκό σώμα του αλόγου. Σε αντίθεση με τα σημεία 8 και 9 εμφανίζει μεγάλες κορυφές Pb, εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας λευκού του μολύβδου στο υποκείμενο στρώμα.

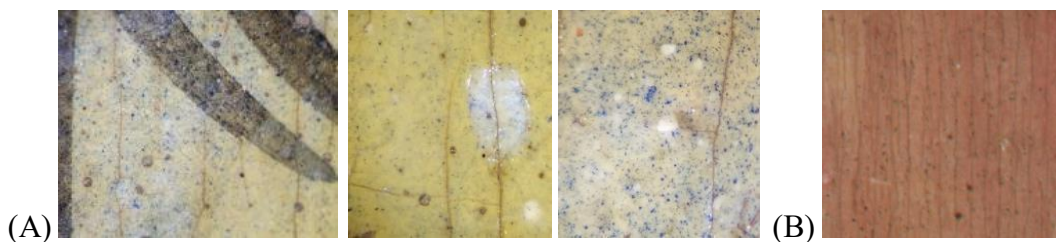
Το σημείο 14 βρίσκεται στο κυανό ένδυμα του αγίου. Το φάσμα παρουσιάζει πολύ υψηλές κορυφές Pb, σχετικά υψηλές κορυφές Ca, Fe και παρουσία K. Οι πληροφορίες που προκύπτουν από το φάσμα XRF δεν είναι πολύ βοηθητικές, καθώς η ύπαρξη σχετικά υψηλού Fe και μικρής ποσότητας K θα μπορούσε να υποδεικνύει είτε τη χρήση πρωσικού κυανού (βλ. Αντικείμενο B: φάσματα 3,4), είτε τα στοιχεία της προετοιμασίας και άρα την παρουσία οργανικής χρωστικής (ινδικό). Το σχετικά υψηλό Ca επίσης δεν ξεδιαλύνει την κατάσταση, καθώς και στις δύο χρωστικές μπορούν να έχουν προστεθεί ασβεστιτικές ύλες ως πληρωτικά υλικά, ούτε όμως και η μεγάλη ποσότητα μολύβδου, αφού τόσο το πρωσικό κυανό όσο και το ινδικό είναι πολύ σκούρες χρωστικές. Το κόκκινο λανθασμένο χρώμα παραπέμπει μάλλον σε ινδικό (βλ. και “Ινδικό & Πρωσικό κυανό”) (εικόνα 68). Στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης βλέπουμε πως όσο η ακτινοβολία προχωρά προς το υπέρυθρο, τόσο η ανακλαστικότητα αυξάνεται. Το πρωσικό κυανό γνωρίζουμε πως επιδεικνύει μεγάλη απορροφητικότητα στην περιοχή του υπέρυθρου (FitzHugh 2012, Picollo *et al* 2020), επομένως κατά πάσα πιθανότητα πρόκειται για ινδικό, του οποίου η ανακλαστικότητα αυξάνεται από τα 700nm και μετά.

⁴⁸ Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί και μία άλλη παράμετρος που θα μπορούσε να είναι σχετική με τα υψηλά ποσοστά S. Σε μία συνταγή του 15ου αι. σώζονται οδηγίες για την εκχύλιση φυσικών βαφών από βαμμένες μάλλινες ίνες. Το τελικό προϊόν της μεθόδου, η οποία φαίνεται να έχει εφαρμοστεί σε αρκετές περιπτώσεις, εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις S εξαιτίας της διάλυσης των ινών (Kirby *et al* 2005).



Εικόνα 68: (Α) Έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό, (Β) έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση και (Γ) ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης. Όσο η ακτινοβολία προχωρά προς το υπέρυθρο, τόσο η ανακλαστικότητα αυξάνεται. Μάλλον στο ένδυμα του αγίου έχει χρησιμοποιηθεί ινδικό.

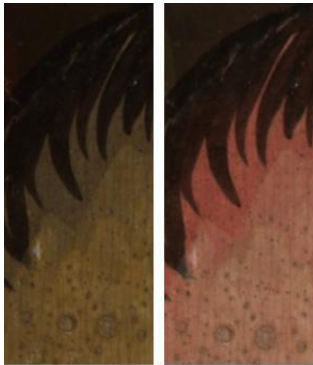
Το σημείο 11 βρίσκεται στον λευκό λαιμό του αλόγου. Αδιαμφισβήτητα επικρατέστερο στοιχείο του φάσματος είναι ο Pb, που παραπέμπει σαφώς στο λευκό του μολύβδου, ενώ εντοπίζονται μικρές κορυφές Ca, Fe και μικρότερες Mn, Cd και Cr. Ενδεχομένως στο λευκό του αλόγου να έχει αναμιχθεί μικρή ποσότητα όμπρας/σιέννας (Fe, Mn, βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5), κίτρινου του χρωμίου (Pb, Cr) και κίτρινου του καδμίου (Cd). Ταυτόχρονα, σε όλη την περιοχή του σώματος του αλόγου εκτός από την ουρά εντοπίζεται ένα ροζ - σομόν λανθασμένο χρώμα, που παραπέμπει σε κυανή χρωστική. Κρίνοντας από την απουσία κάποιου χαρακτηριστικού στοιχείου στο XRF, μάλλον πρόκειται για ινδικό, το οποίο έχει εφαρμοστεί σε αραιό στρώμα επάνω από το λευκό του μολύβδου ως λαζούρα. Τα πορίσματα από την στερεοσκοπική εξέταση συνάδουν με αυτή την υπόθεση, καθώς φαίνονται σαφώς κυανοί κόκκοι διασκορπισμένοι επάνω στη λευκή επιφάνεια (εικόνα 69).



Εικόνα 69: (Α) Κυανοί κόκκοι διασκορπισμένοι επάνω στο λευκό σώμα του αλόγου όπως φάνηκαν στη στερεοσκοπική εξέταση και (Β) το ροζ-σομόν λανθασμένο χρώμα στο σώμα του αλόγου.

Το σημείο 12 έχει ληφθεί στην χαίτη του αλόγου. Παρουσιάζει αντίστοιχες κορυφές με το φάσμα 11, με τη διαφορά πως εμφανίζει μεγαλύτερη ποσότητα Ca, Fe και μικρότερη ποσότητα Pb. Επίσης στο φάσμα 12 εντοπίζονται μικρές κορυφές K και Si. Κατά πάσα πιθανότητα το αραιό χρωματικό στρώμα της χαίτης αποτελείται από μαύρο του άνθρακα (βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5). Επίσης, εξετάζοντας την εικόνα στο ορατό διαπιστώνονται στην εσωτερική πλευρά όλων των

περιγραμμάτων του αλόγου και στην περιοχή της χαίτης κάποιες σκούρες περιοχές κάτω από το λευκό χρωματικό στρώμα (εικόνα 70). Στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση, οι ίδιες περιοχές έχουν πιο έντονο ροζ λανθασμένο χρώμα. Πιθανόν σε πρώτη φάση εφαρμόστηκε περιφερειακά η χρωστική της χαίτης ως προπλασμός και ως πρώτος καθορισμός των μορφολογικών ορίων. Επάνω –και ενδιάμεσα, στην περιοχή της χαίτης– από αυτό το στρώμα περάστηκε το λευκό του μολύβδου, και ακολούθως το ινδικό.

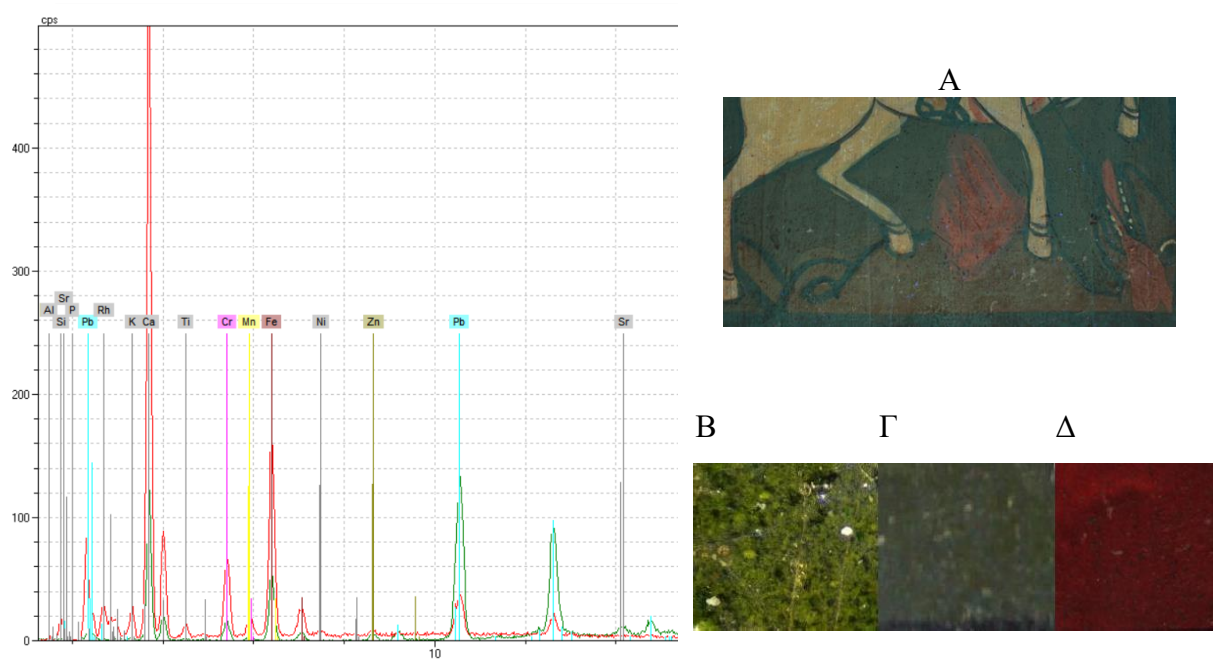


Εικόνα 70: Οι σκούρες περιοχές κάτω από το λευκό στρώμα του σώματος του αλόγου, όπως φαίνονται στην ορατή και την έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση.

Η μέτρηση 13 έχει ληφθεί στο κάτω άκρο ουράς του αλόγου. Το φάσμα παρουσιάζει πολύ μεγάλες κορυφές Pb (λευκό του μολύβδου), μεγάλες κορυφές Ca, Fe και μικρότερες κορυφές Cr και Mn. Κρίνοντας από τη μεγάλη απορροφητικότητα σε όλες τις φασματικές ζώνες και το μαύρο λανθασμένο χρώμα, κατά πάσα πιθανότητα η σκούρα χρωστική του σημείου αποτελεί μαύρο του άνθρακα. Η όμπρα (Ca, Fe, Mn) και το κίτρινο του χρωμίου (Pb, Cr) μάλλον έχουν προκύψει από το υποκείμενο χρωματικό στρώμα του κάμπου. Επίσης, ο αρκετά πιο σκούρος τόπος στο ορατό και η απουσία ροζ λανθασμένου χρώματος στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση στην ουρά του αλόγου, υποδηλώνουν πως έχει εφαρμοστεί σε μεγαλύτερη έκταση ο προπλασμός που αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά όχι ινδικό.

Το φάσμα 20 έχει ληφθεί στο πράσινου χρώματος σώμα του δράκου (εικόνα 71). Εντοπίζεται πολύ μεγάλη κορυφή Ca, μεγάλη κορυφή Fe, Pb μικρότερες κορυφές S, Cr, K, και ασθενείς κρουφές Si και Mn. Πιθανόν να έχει χρησιμοποιηθεί όμπρα, ή/και κάποια κίτρινη γαιώδης χρωστική (Fe, Si, K, S, βλ. και παράρτημα, Πίνακας 5) ή/και κίτρινο του χρωμίου (Pb, Cr). Από την στερεοσκοπική εξέταση, φαίνεται πως το πράσινο χρώμα μάλλον πρόκειται για μίξη δύο χρωστικών. Η εικόνα που παίρνουμε από τις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης παραπέμπει σε ινδικό. Αν και η χρήση ινδικού αποτελεί την πιο πιθανή περίπτωση μιας που έχει χρησιμοποιηθεί και στο ένδυμα του αγίου, δεν μπορούμε να αποκλείσουμε χωρίς περαιτέρω διαγνωστικές εξετάσεις την παρουσία *viridian green*. Το φάσμα του σημείου 20 εμφανίζει υψηλές κορυφές Cr και Ca, ενώ τα σημεία όπου έχει χρησιμοποιηθεί ινδικό όχι. Η παρουσία Cr, όπως και το λανθασμένο χρώμα (Moon *et al* 1992, Cosentino 2014, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020) υποδεικνύουν πως θα μπορούσε να πρόκειται για τριοξείδιο του χρωμίου ή για διένυδρο τριοξείδιο

του χρωμίου (*viridian green*). Οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης παραπέμπουν περισσότερο σε *viridian green* (CHSOS). Ως εκ τούτου, τα πιθανά ενδεχόμενα είναι πως είτε πρόκειται για μίξη ινδικού με κίτρινο του χρωμίου και ενδεχομένως κάποια κίτρινη γαιώδη χρωστική, είτε για μίξη κίτρινης γαιώδους χρωστικής με *viridian green*. Το σώμα του δράκου, κατά την ακτινοβόλησή του με υπεριώδη ακτινοβολία φαίνεται να εκπέμπει έναν πολύ αμυδρό πορτοκαλί-καστανό φθορισμό, κάτω από τον έντονο πράσινο φθορισμό του επικαλυπτικού υλικού. Ενδεχομένως αυτό να οφείλεται στην παρουσία της κίτρινης γαιώδους χρωστικής, η οποία, σύμφωνα με τον Cosentino (2015), τείνει να παρουσιάζει έναν μικρό φθορισμό όταν εφαρμόζεται σε αυγοτέμπερα ή ελαιώδη συνδετικά μέσα.



Εικόνα 71: Αριστερά το φάσμα XRF και δεξιά (A) υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού (αμυδρός πορτοκαλί φθορισμός στο σώμα του δράκου), (B) στερεοσκοπική εξέταση, (Γ) το χρώμα στο ορατό και (Δ) το λανθασμένο χρώμα των σημείων.

Τέλος, το σημείο 21 βρίσκεται στα μαύρα γραψίματα στην ουρά του δράκου. Το φάσμα δείχνει πολύ μεγάλες κορυφές Fe, σημαντικές κορυφές Ca, Pb, και μικρότερες κορυφές Ti, Cr, Mn. Οι κορυφές Fe, Ca Ti, Mn παραπέμπουν στη χρήση κάποιας σιέννας, πράσινης γαίας ή άλλης γαιώδους χρωστικής. Από την άλλη, το λανθασμένο χρώμα και οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης ταιριάζουν πιο πολύ με μαύρο του άνθρακα. Ενδεχομένως να έχει γίνει κάποια μίξη. Ο Pb και το Cr πιθανώς προέρχονται από το υποκείμενο πράσινο χρωματικό στρώμα.

Συζήτηση: Εικόνα Γ

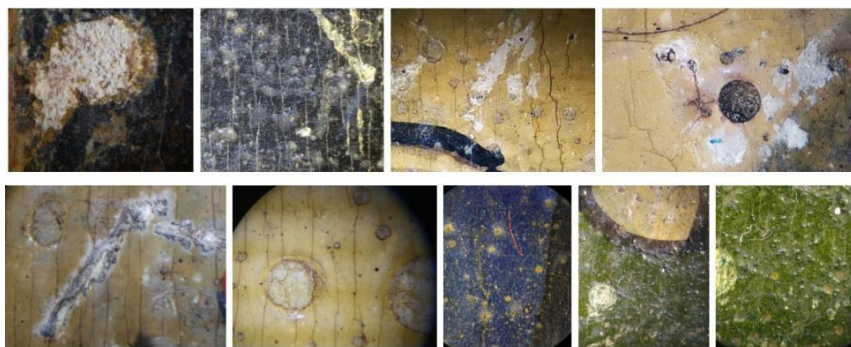
Στο πρόσωπο του Αγίου Γεωργίου εντοπίστηκαν λευκό του μολύβδου και μικρές ποσότητες σιέννας, κίτρινου του χρωμίου και κίτρινου του καδμίου, κόκκινη γαιώδης χρωστική, κόκκινη λάκα και ενδεχομένως μίνιο. Στην κόμη του αγίου έχουν χρησιμοποιηθεί μαύρο του άνθρακα, όμπρα και ενδεχομένως κίτρινο του χρωμίου. Στα ενδύματα του αγίου εντοπίζεται μίξη λευκού του μολύβδου και ινδικού, στον θώρακα κονία κράματος χαλκού-ψευδαργύρου (ορείχαλκου), και στην κάπα κόκκινη γαιώδης χρωστική, κόκκινη λάκα και μαύρο του άνθρακα. Για την απόδοση του ίππου έχει χρησιμοποιηθεί λευκό του μολύβδου, μαύρο του άνθρακα και ενδεχομένως ινδικό. Στο σώμα του δράκου εντοπίζεται είτε μίξη ινδικού με κίτρινο του χρωμίου και ενδεχομένως κάποια κίτρινη γαιώδη χρωστική, είτε μίξη κίτρινης γαιώδους χρωστικής με *viridian green*, ενώ στα φτερά κόκκινη γαιώδης χρωστική, κόκκινη λάκα και μαύρο του άνθρακα.

Εν κατακλείδι, οι χρωστικές που εντοπίστηκαν στην εικόνα Α περιλαμβάνουν λευκό του μολύβδου, όμπρα, κίτρινο του χρωμίου ή *viridian green*, ινδικό, κόκκινη λάκα, μαύρο του άνθρακα, πιθανώς σιέννα και κίτρινη ή/και κόκκινη γαιώδη χρωστική και ενδεχομένως μίνιο, κίτρινο του καδμίου και πράσινη γαία (εικόνα 73). Από αυτές, οι μόνες χρωστικές που δεν ήταν διαθέσιμες πριν τον 19^ο αι. είναι το κίτρινο του χρωμίου και το ινδικό, στην περίπτωση που είναι συνθετικό.

Εξετάζοντας συνολικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων XRF για το αντικείμενο Γ, προκύπτει πως σε όλες τις περιοχές όπου έχει ταυτοποιηθεί όμπρα, εντοπίζονται υψηλές κορυφές Cr, πάντα αντίστοιχου μεγέθους με του Mn. Σημειώνεται επίσης πως η ίδια αναλογία Fe/Cr/Mn εμφανίζεται και στην εικόνα Β, στο φάσμα από την περιοχή του κάμπου (σημείο 1). Στην παρούσα πτυχιακή οι κορυφές του Cr έχουν αποδοθεί σε κίτρινο του χρωμίου. Θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί το ενδεχόμενο να πρόκειται για μια μίξη όμπρας και κίτρινου ή κόκκινου του χρωμίου, η οποία κυκλοφορούσε στο εμπόριο ως έτοιμη τυποποιημένη χρωστική, στα πλαίσια της ανερχόμενης δημοτικότητας του εν λόγω κίτρινου μέσα στον 19^ο αιώνα.

Στην ενότητα “Τα αντικείμενα προς εξέταση/ Αντικείμενο Γ”, κατά την περιγραφή της κατάστασης διατήρησης της εικόνας γίνεται λόγος για λευκές επικαθίσεις, καθώς και διαφόρων μεγεθών συσσωματώματα, οπές και κρατήρες, τα οποία εντοπίζονται διάσπαρτα σε διάφορα σημεία αλλά με μεγαλύτερη ένταση στις λευκές και κυανές περιοχές (εικόνα 72). Όπως διαπιστώθηκε κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων, το κοινό στοιχείο που παρουσιάζουν αυτές οι δύο περιοχές είναι η σημαντική παρουσία λευκού του μολύβδου. Δεν αποκλείεται οι συγκεκριμένες φθορές να αποτελούν ένδειξη του φαινομένου της σαπωνοποίησης, το οποίο προκαλείται από την αντίδραση του λευκού του μολύβδου –και άλλων χρωστικών– με τα

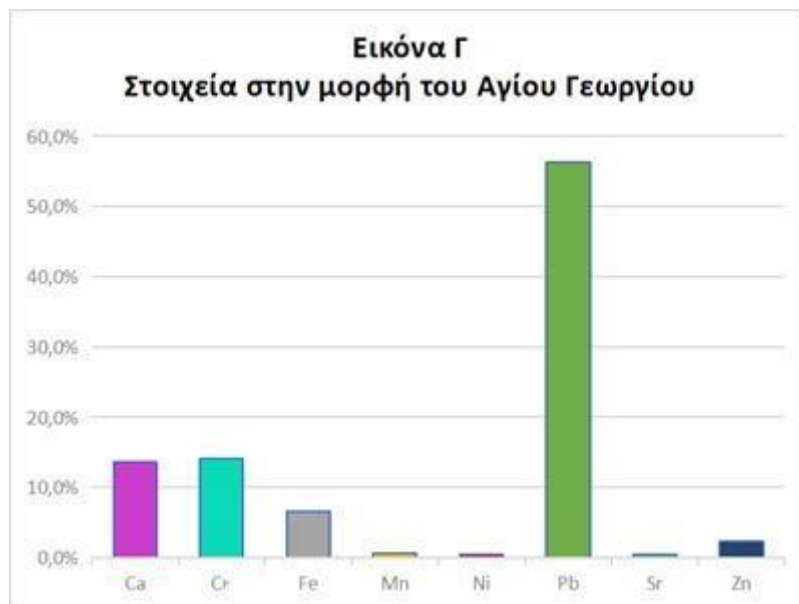
ελεύθερα λιπαρά οξέα ελαιωδών συνδετικών μέσων ή/και επικαλυπτικών υλικών (βλ. Ενότητα 4.2).



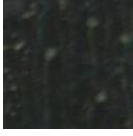
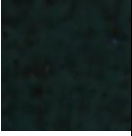
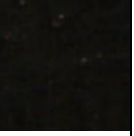



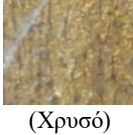





Εικόνα 72: Λευκές επικαθίσεις, οπές, κρατήρες και συσσωματώματα από διάφορες περιοχές της Εικόνας Γ που ενδεχομένως να προδίδουν φαινόμενο σαπυνοποίησης. Βλ. και συγκριτικά Κεφάλαιο V, Εικόνα 76.


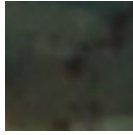
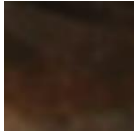

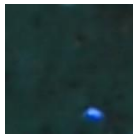
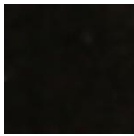

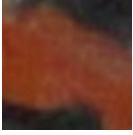

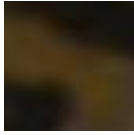


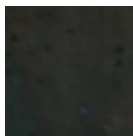

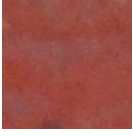
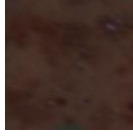
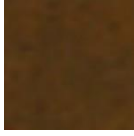


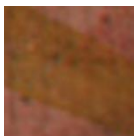



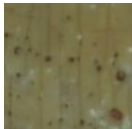

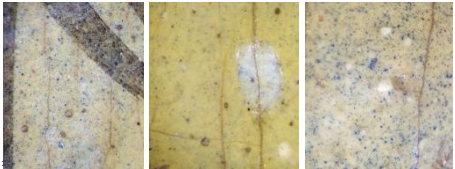



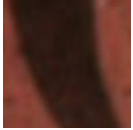






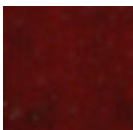
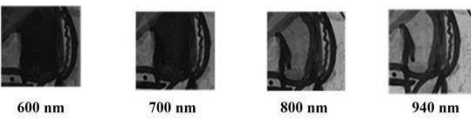
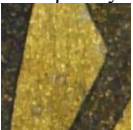
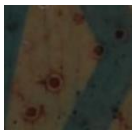
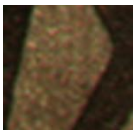
Εικόνα 73: Χαρτογράφηση του συνόλου των χρωστικών που εντοπίστηκαν στην εικόνα Γ.

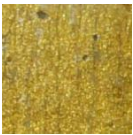



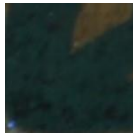

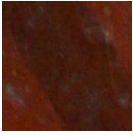



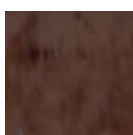
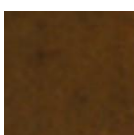


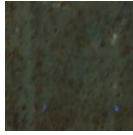


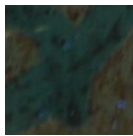
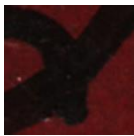





Εικόνα 74: Τα χημικά στοιχεία που εντοπίστηκαν με το pXRF στη μορφή του Αγίου Γεωργίου.

ΜΕΤΡΗΣΗ pXRF	ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ ΟΡΑΤΟ	ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ UV	ΕΓΧΡΩΜΗ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΤΗΚΑΝ ΣΤΟ pXRF	ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ
1	Περιφερειακή ταινία  (Καστανό προς μαύρο)			Fe, Pb, Ca, Cr, Mn, Al, Si, P, S, K, Ti, Ni, Zn, Sr, Rh	Κατά πάσα πιθανότητα μαύρο του άνθρακα, ενδεχομένως μαζί με όμπρα Όμπρα, κίτρινο του χρωμίου και λευκό του μολύβδου (από το υποκείμενο στρώμα)
2	Κάμπος  (Καστανό)			Fe, Ca, Pb, Cr, Mn, K, Ti, S, Al, Si, P, Ni, Cu, Zn, Sr, Rh	Όμπρα, κίτρινο του χρωμίου και λευκό του μολύβδου
3	Φωτοστέφανο  (Χρυσό)			Ca, Cu, Zn, Pb, Fe, Ni, Sr	Κονία κράματος χαλκού-ψευδαργύρου
4	Φώτισμα στο πρόσωπο  (Απόχρωση του δέρματος)			Pb, Ca, Fe, Ni, K, Si, P, S, Ti, Cr, Mn, Cd, Sr, Rh	Λευκό του μολύβδου και μικρές ποσότητες σιέννας, κίτρινου/κόκκινου του χρωμίου και κίτρινο του καδμίου

5	<p>Προπλασμός στο λαμό</p>  <p>(Καστανό)</p>			<p>Pb, Fe, Ca, Mn, S, Ti, Cr, Ni, Al, Si, P, Cu, Zn, Cd, Sn, Sr,</p>	<p>Όμπρα, κίτρινο του χρωμίου, κίτρινο του καδμίου και λευκό του μολύβδου</p> <p>Κονία κράματος χαλκού- ψευδαργύρου (από το υποκείμενο στρώμα του φωτοστέφανου)</p>
6	<p>Κόμη</p>  <p>(Καστανό σκούρο)</p>			<p>Ca, Fe, Pb, Cr, Mn, Cu, Ti, Zn, Al, Si, P, S, K, Ni, Sr, Rh</p>	<p>Μαύρο του άνθρακα, όμπρα και κίτρινο/κόκκινο του χρωμίου</p> <p>Κονία κράματος χαλκού- ψευδαργύρου (από το υποκείμενο στρώμα του φωτοστέφανου)</p>
	<p>Άλλη εικόνα από στερεοσκόπιο:</p> 				
7	<p>Χείλη</p>  <p>(Κόκκινο)</p>			<p>Pb, Ca, Fe, Mn, Ni, Si, P, K, Ti, Cr, Cd, Sr, Rh</p>	<p>Κόκκινη γαιώδης χρωστική ή/και κόκκινη λάκα ή/και μίνιο</p> <p>Λευκό του μολύβδου</p>
	<p>Άλλη εικόνα από στερεοσκόπιο:</p> 				
8	<p>Μανδύας αγίου</p>  <p>(Κόκκινο σκούρο)</p>			<p>Ca, Fe, S, Al, Si, P, Ti, Ni, Zn, Pb, Sr, Rh</p>	<p>Κόκκινη όχρα και ενδεχομένως κάποια κόκκινη λάκα</p>
9	<p>Φώτισμα στο μανδύα</p>  <p>(Κόκκινο φωτεινό)</p>			<p>Ca, Fe, S, Al, Si, P, Ni, Zn, Pb, Sr, Rh</p>	<p>Κόκκινη όχρα και ενδεχομένως κάποια κόκκινη λάκα</p>
10	<p>Χαλινάρι αλόγου</p>  <p>(Κόκκινο φωτεινό)</p>			<p>Pb, Ca, Fe, Si, P, K, Ni, Sr, Rh</p>	<p>Κόκκινη όχρα</p> <p>Λευκό του μολύβδου (από το υποκείμενο στρώμα)</p>

11	<p>Λαίμος του αλόγου</p>  <p>(Λευκό)</p>			<p>Pb, Ca, Fe, Si, P, Ni, Cd, Sn, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, μικρή ποσότητα σιένας, μικρή ποσότητα κίτρινου του χρωμίου, μικρή ποσότητα κίτρινου του καδμίου και ενδεχομένως ινδικό</p>
	<p>Άλλες εικόνες από το στερεοσκόπιο:</p> 				
12	<p>Χαίτη αλόγου</p>  <p>(Καστανό-μαύρο)</p> 		 	<p>Pb, Ca, Fe, Si, P, K, Ti, Ni, Sr, Rh</p>	<p>Λευκό του μολύβδου και ενδεχομένως μίξη πράσινης γαίας με μαύρο του άνθρακα</p>
13	<p>Κάτω άκρο ουράς του αλόγου</p>  <p>(Καστανό-μαύρο)</p>			<p>Pb, Ca, Fe, Cr, Mn, Al, Si, P, K, Ti, Ni, Zn, Sr, Rh</p>	<p>Μαύρο του άνθρακα Όμπρα, κίτρινο του χρωμίου και λευκό του μολύβδου (από το υποκείμενο στρώμα)</p>
14	<p>Ένδυμα αγίου</p>  <p>(Κυανό)</p>			<p>Pb, Ca, Fe, Al, Si, P, K, Ti, Ni, Zn, Sr, Rh</p>	<p>Ινδικό και λευκό του μολύβδου</p>
	<p>Λεπτομέρεια από τις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης:</p>  <p>600 nm 700 nm 800 nm 940 nm</p>				
15	<p>Θώρακας</p>  <p>(Χρυσό)</p>			<p>Ca, Cu, Zn, Pb, Fe, Ni, Sr</p>	<p>Κονία κράματος χαλκού-ψευδαργύρου</p>

16	<p>Σέλα</p>  <p>(Χρυσό)</p>			Ca, Cu, Zn, Pb, Fe, Ni, Sr	Κονία κράματος χαλκού- ψευδαργύρου
17	<p>Διάκοσμος σέλας</p>  <p>(Καστανό)</p>			Ca, Cu, Fe, Pb, Si, S, Ti, Zn, Al, P, Cr, Mn, Ni, Cd, Sn, Sr, Rh	Μαύρο του άνθρακα
18	<p>Φτερά δράκου</p>  <p>(Κόκκινο σκούρο)</p>			Ca, Fe, S, Al, Si, P, Ti, Mn, Ni, Zn, Pb, Sr, Rh	Κόκκινη όχρα και μαύρο του άνθρακα
19	<p>Φτερά δράκου</p>  <p>(Κόκκινο φωτεινό)</p>			Ca, Fe, S, Al, Si, Ti, Mn, Ni, Zn, Pb, Sr, Rh	Κόκκινη όχρα
20	<p>Σώμα δράκου</p>  <p>(Πράσινο)</p> <p>Άλλη εικόνα από στερεοσκόπιο:</p> 			Ca, Fe, Pb, S, Cr, K, Al, Si P, Ti, Mn, Ni, Zn, Sr, Rh	Μίξη ινδικού με κίτρινο του καδμίου και ενδεχομένως κίτρινη γαιώδη χρωστική / μίξη κίτρινης γαιώδους χρωστικής με viridian green Όμπρα (ενδεχομένως από το υποκείμενο στρώμα)
21	<p>Γράψιμο στο σώμα του δράκου</p>  <p>(Μαύρο)</p>			Fe, Ca, Pb, Ti, Cr, Mn, Al, Si, P, (S), K, Ni, Zn, Sr, Rh	Μίξη όμπρας και μαύρου του άνθρακα
22	<p>Κηλίδα προετοιμασίας</p>  <p>(Λευκό)</p>	-	-	Ca, S, K, Ni, Fe, Si, Al	Γύψος

25	Έδαφος  (Καστανό-πράσινο)	Ca, Fe, Pb, Cr, Mn, Si, P, S, K, Ti, Zn, Cd, Sr, Rh	Όμπρα και ενδεχομένως λευκό του μολύβδου ή μαύρο του άνθρακα.
	Άλλη εικόνα από την μακροσκοπική παρατήρηση: 		

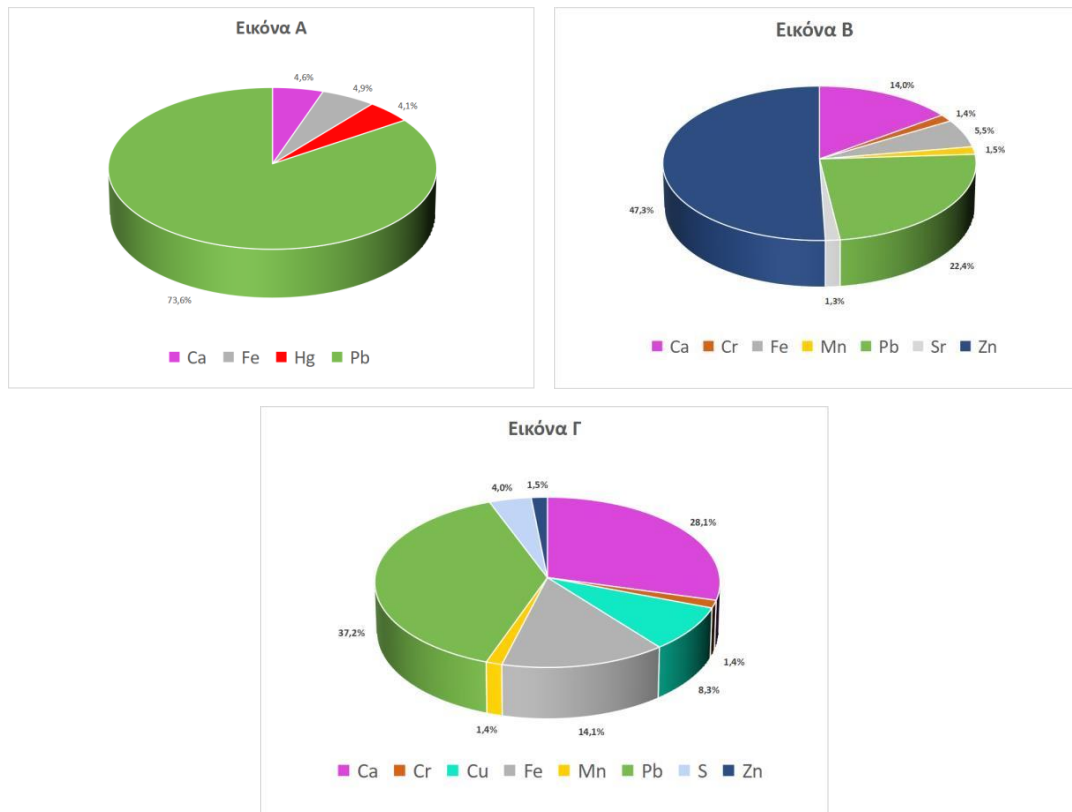
Πίνακας 3: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για το αντικείμενο Γ.

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

	Εικόνα Α	Εικόνα Β	Εικόνα Γ
Λευκό	Λευκό του μολύβδου	Λευκό του ψευδαργύρου	Λευκό του μολύβδου
Καστανό	Όμπρα ή σιέννα (;)	Όμπρα Σιέννα (;)	Όμπρα
Κόκκινο	Vermilion (Κόκκινη-ιώδης λάκα) Μίνιο (;)	Μίνιο / μάζσικοτ Κόκκινη γαιώδης χρωστική (;) (Κόκκινη λάκα) (Ιώδης λάκα)	(Κόκκινη λάκα) Σιέννα (;) Κόκκινη γαιώδης χρωστική (;) Μίνιο (;)
Κυανό	(Ινδικό) Πρωσικό κυανό / βιβιανίτης(;))	Πρωσικό κυανό (Ινδικό)	(Ινδικό)
Κίτρινο	Κίτρινη γαιώδης χρωστική Κίτρινο του καδμίου Κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου (;) Κίτρινο του χρωμίου (;)	Κίτρινη γαιώδης χρωστική (;) Κίτρινο του χρωμίου Μάζσικοτ / μίνιο	Κίτρινο του χρωμίου (;) Κίτρινη γαιώδης χρωστική (;) Κίτρινο του καδμίου (;)
Πράσινο	Πράσινη γαία (;)	Μίξη πρωσικού κυανού - κίτρινου του χρωμίου	Μίξη (ινδικού) - κίτρινου του χρωμίου (;)

			/
			Μίξη viridian green - κίτρινης γαιώδους χρωστικής (;)
Μαύρο	(Μαύρο του άνθρακα)	(Μαύρο του άνθρακα)	(Μαύρο του άνθρακα)

Πίνακας 4: Συγκεντρωτική παράθεση των χρωστικών που εντοπίστηκαν στα τρία αντικείμενα. Η σηματοδότηση με (;) υποδηλώνει πως η χρωστική δεν έχει ταυτοποιηθεί με απόλυτη ασφάλεια, ενώ μέσα σε παρενθέσεις βρίσκονται οι οργανικές χρωστικές που δεν είναι άμεσα ανιχνεύσιμες με την φθορισμομετρία ακτίνων Χ.



Εικόνα 75: Συγκριτική απεικόνιση των ποσοστών των επικρατέστερων χημικών στοιχείων που εντοπίστηκαν με το pXRF στις εικόνες Α, Β και Γ.

Ινδικό & Πρωσικό κυανό

Κρίθηκε σκόπιμο να γίνει σε αυτό το σημείο μία κάπως πιο εκτενής αναφορά στο ινδικό και το πρωσικό κυανό, δεδομένου πως εντοπίστηκαν σε όλες τις εικόνες και ταυτόχρονα παρουσιάζουν κάποια ιδιάζοντα χαρακτηριστικά ως προς την ταυτοποίησή τους. Αν και το ινδικό αποτελεί οργανική ενώ το πρωσικό κυανό ανόργανη χρωστική, οι δύο αυτές ύλες παρουσιάζουν πολύ παρόμοιες αποχρώσεις. Ένα άλλο κοινό τους στοιχείο είναι πως έχουν βρεθεί να περιέχουν ποικίλων ειδών προσθήκες, με σκοπό είτε τη διάθεση μιας πιο ανοιχτόχρωμης απόχρωσης –και οι δύο αυτές χρωστικές είναι στην αρχική τους απόχρωση εξαιρετικά σκούρες, σχεδόν μαύρες– είτε τη νοθεία.

Το ινδικό έχει βρεθεί να περιέχει ως νοθεύματα στάχτη, αιθάλη, άμμο, κυανές ίνες από μαλλί ή μετάξι, αμυλόκολλα, ρητίνες και προϊόντα οξείδωσης του σιδήρου. Ως πληρωτικά υλικά μπορεί να έχουν προστεθεί ανθρακικό ασβέστιο ή μαγνήσιο, οξείδια του αργιλίου και του σιδήρου, γύψος, πηλός, κιμωλία, στεατίτης αλλά και πρωσικό κυανό (Eastaugh *et al* 2004, FitzHugh 2012). Το πρωσικό κυανό, ανάλογα με τον τρόπο που έχει κατασκευαστεί, είναι πιθανόν να περιέχει τα στοιχεία Al (παρουσία ένυδρης αργιλίας), K, Cl και S. Συγκεκριμένα όσον αφορά την ένυδρη αργιλία, πέρα από εκ κατασκευής μπορεί να έχει προκύψει και ως νόθευμα. Επίσης, άλλες ύλες που προσθέτονταν ως πληρωτικά υλικά περιλαμβάνουν γύψο, λευκό του ψευδαργύρου, αμυλόκολλα, κιμωλία, οξείδιο του αργιλίου, οξείδιο του μαγνησίου, οξείδια του σιδήρου και γαιώδεις χρωστικές, θειικό ασβέστιο, θειικό βάριο (*λευκό του βαρίου*), οξείδιο του ψευδαργύρου (*λευκό του ψευδαργύρου*). Παρατίθεται το παράδειγμα της χρωστικής που κυκλοφορούσε με την εμπορική ονομασία *Antwerp blue*, η οποία αποτελούσε μίξη πρωσικού κυανού με οξείδιο του αργιλίου, οξείδιο του μαγνησίου και οξείδιο του ψευδαργύρου (*λευκό του ψευδαργύρου*), και της *Brunswick blue*, μίξης πρωσικού κυανού με θειικό βάριο (*λευκό του βαρίου*) (Gettens and Stout 1966, Townsend *et al* 1995, Eastaugh *et al* 2004, Kirby and Saunders 2004, FitzHugh 2012, Μαστροθεόδωρος 2016).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό τους είναι πως και οι δύο χρωστικές, μετά την εξέτασή τους με έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση, συναντώνται στη βιβλιογραφία αντιστοιχισμένες με ένα εύρος λανθασμένων χρωμάτων, συχνά πολύ διαφορετικών μεταξύ τους. Το ινδικό έχει αντιστοιχιστεί με αποχρώσεις κόκκινες (Moon *et al* 1992, Cosentino 2014, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020), καστανές σκούρες (Matteini *et al* 1978, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993), αλλά και σκούρες κυανές (Moon *et al* 1992). Αντίστοιχα το πρωσικό κυανό έχει αντιστοιχιστεί με μαύρο (Matteini *et al* 1978, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Cosentino 2014), με αποχρώσεις κυανές-μαύρες (Moon *et al* 1992), με καστανο-κόκκινο (Art&Maps 2020) και με

πολύ σκούρο καστανό (Cosentino *et al* 2014). Όπως αναφέρεται στο έργο από τους Moon *et al* (1992), οι διαφοροποιήσεις αυτές ενδεχομένως οφείλονται σε διαφορετικές συγκεντρώσεις των χρωστικών, πιθανόν όμως να αντανακλούν και διαφοροποιήσεις της χημικής σύστασης από χρωστική σε χρωστική. Το στοιχείο αυτό θα μπορούσε να βρίσκεται σε συμφωνία με τις ποικίλες πιθανές προσθήκες που δύνανται να εμπεριέχονται τόσο στο ινδικό όσο και στο πρωσικό κυανό, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Μια άλλη χρωστική με διαφοροποιήσεις όσον αφορά τα λανθασμένα χρώματα είναι το μπλε ουλτραμαρίν. Η χρωστική αυτή έχει αντιστοιχιστεί με κόκκινο-ιώδες (Moon *et al* 1992, Cosentino 2014, Cosentino *et al* 2014, Art&Maps 2020) και σκούρο κυανό (Matteini *et al* 1978, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993)

3.4 Συμπεράσματα

- Στην εικόνα Α ταυτοποιήθηκαν οι παραδοσιακές ανόργανες χρωστικές λευκό του μολύβδου, *vermilion*, κίτρινη γαιώδης χρωστική, πρωσικό κυανό (ή ενδεχομένως βιβιανίτης), ενδεχομένως κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου, πράσινη γαία και όμπρα ή σιέννα. Παράλληλα, εικάζεται η παρουσία παραδοσιακών οργανικών χρωστικών, όπως μαύρο του άνθρακα και πιθανώς κόκκινη-ιώδης λάκα. Επίσης πιθανόν ταυτοποιήθηκαν, αν και σε πολύ μικρές ποσότητες, οι νέες συνθετικές ανόργανες χρωστικές κίτρινο του καδμίου και κίτρινο του χρωμίου, ενώ το ινδικό που εντοπίστηκε δεν αποκλείεται να είναι συνθετικό.
- Στην εικόνα Β ταυτοποιήθηκαν οι παραδοσιακές ανόργανες χρωστικές όμπρα, πιθανώς σιέννα και κίτρινη ή κόκκινη γαιώδης χρωστική, πρωσικό κυανό και μίνιο ή μάσσικοτ. Παράλληλα εικάζεται η παρουσία των παραδοσιακών οργανικών χρωστικών μαύρου του άνθρακα και τουλάχιστον μίας κόκκινης λάκας. Επίσης ταυτοποιήθηκαν οι νέες συνθετικές ανόργανες χρωστικές λευκό του ψευδαργύρου και κίτρινο του χρωμίου, ενώ το ινδικό και η ιώδης λάκα που εντοπίστηκαν δεν αποκλείεται να είναι συνθετικά. Ταυτόχρονα δεν αποκλείεται η χρήση λάκας εωσίνης (*geranium lake*).
- Στην εικόνα Γ ταυτοποιήθηκαν οι παραδοσιακές ανόργανες χρωστικές λευκό του μολύβδου, όμπρα, σιέννα, κόκκινη γαιώδης χρωστική, ενδεχομένως πράσινη γαία και μίνιο. Παράλληλα εικάζεται η παρουσία της παραδοσιακής οργανικής χρωστικής μαύρου του άνθρακα. Επίσης ταυτοποιήθηκαν οι νέες συνθετικές ανόργανες χρωστικές κίτρινο του καδμίου, κίτρινο/κόκκινο του χρωμίου και πιθανώς διένυδρο τριοξείδιο του χρωμίου (*viridian green*), ενώ το ινδικό που εντοπίστηκε δεν αποκλείεται να είναι συνθετικό. Τέλος, εντοπίστηκε και η χρήση κόνιας κράματος χαλκού-ψευδαργύρου.
- Συνοπτικά, οι νέες συνθετικές χρωστικές του 19ου αιώνα που εντοπίστηκαν μέσω των φυσικοχημικών τεχνικών διάγνωσης που εφαρμόστηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία (υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού, φθορισμομετρία ακτίνων Χ, πολυφασματική απεικόνιση) συμπεριλαμβάνουν κυρίως λευκό του ψευδαργύρου και κίτρινο/κόκκινο του χρωμίου, δευτερευόντως κίτρινο του καδμίου και ενδεχομένως διένυδρο τριοξείδιο του χρωμίου (*viridian green*), συνθετικό ινδικό, λάκα εωσίνης και συνθετική ιώδη λάκα καθώς και κόνια κράματος χαλκού-ψευδαργύρου.
- Η νέα συνθετική χρωστική που μάλλον εντοπίστηκε και στις τρεις εικόνες προς εξέταση είναι το κίτρινο του χρωμίου. Δεν αποκλείεται και το ινδικό, που επίσης εντοπίζεται σε όλα τα έργα, να πρόκειται για το συνθετικό αντίστοιχο προϊόν της φυσικής οργανικής βαφής, το οποίο

εμφανίζεται τον 19ο αιώνα. Απαιτούνται περαιτέρω εξετάσεις για τη διερεύνηση του ζητήματος.

4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

4.1 Δίγα λόγια για τη γενικότερη συμπεριφορά των χρωστικών

Σε γενικές γραμμές, όλες οι χρωστικές υφίστανται αλλοιώσεις κατά την πάροδο του χρόνου, οι οποίες σε μεγάλο βαθμό συνδέονται με την έκθεση αυτών στις περιβαλλοντικές συνθήκες, κυρίως ακτινοβολίες, υγρασία και θερμότητα. Για παράδειγμα, ιδιαίτερα ευαίσθητες στη δράση ακτινοβολιών είναι οι διάφορες βαφές και λάκες –φυσικές και συνθετικές εξίσου, λ.χ. καρμίνη και λάκα από ριζάρι– αλλά και το λευκό του μολύβδου, το οποίο συχνά εντοπίζεται να έχει πάρει μία κίτρινη προς καστανή απόχρωση. Επίσης η κόκκινη σανδαράχη αλλοιώνεται από την ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται *pararealgar*, μία κίτρινη ουσία με την ίδια χημική σύσταση. Επιρρεπές στη φωτοδιάβρωση είναι και το μίνιο (Everts 2016 β), το οποίο μετά από πολυετή έκθεση σε ακτινοβολία δύναται να μετατραπεί σε λευκή μολυβδούχο ένωση (υδροκερυσσίτη). Η κιννάβαρη (και το βερμιγιόν) έχει την ιδιότητα να απορροφά συγκεκριμένα μήκη κύματος ακτινοβολίας (400-570nm), με αποτέλεσμα σταδιακά να μαυρίζει, κάτι που συμβαίνει πιο έντονα στη ζωγραφική με αυγοτέμπερα. Το φαινόμενο μετριάζεται στις περιπτώσεις που η κιννάβαρη έχει επικαλυφθεί με κάποια λάκα (καρμίνης, αλιζαρίνης κτλ), η οποία καθιστά και το χρώμα πιο έντονο. Ιδιαίτερα ασταθές είναι επίσης το *verdigris* (συνθετικός οξικός χαλκός) όπως και οι ρητίνες χαλκού, καθώς δύνανται από κυανοπράσινα να αποχρωματιστούν σε αποχρώσεις καστανές. Επίσης το *verdigris* σε υψηλές θερμοκρασίες αποσυντίθεται, αφήνοντας μαύρα υπολείμματα (Kubik 2010, Roy 2012, Μαστροθεόδωρος 2016, CAMEO).

Χρωστικές με μεγάλη περιεκτικότητα σε μεταλλικά στοιχεία (λ.χ. λευκό του μολύβδου) τείνουν να αποχρωματίζονται εξαιτίας των αναθυμιάσεων θείου στην ατμόσφαιρα. Οι μόνες χρωστικές για τις οποίες μπορεί να ειπωθεί ότι διατηρούν σταθερές τις ιδιότητές τους, χωρίς να επηρεάζονται από τις διάφορες δυσμενείς συνθήκες, είναι το ένυδρο οξείδιο του χρωμίου, το κυανό του κοβαλτίου και το μαύρο του άνθρακα. Γενικά οι ενώσεις που τείνουν να παρουσιάζουν σχετικά σταθερή συμπεριφορά είναι κάποια άλατα (θειικά, ανθρακικά, φωσφορικά) και τα απλά

οξειδία των μετάλλων (Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Saunders and Kirby 1994, Kubik 2010, Τσίλαγα 2011, Μαστροθεόδωρος 2016).

Πρέπει επίσης να συνυπολογίζεται πως, παράλληλα με τη δράση των περιβαλλοντικών συνθηκών, κάποιες χρωστικές δύνανται να αντιδράσουν και μεταξύ τους. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι το κάδμιο, το οποίο καθιστά πιο βαθύ τον τόνο χρωστικών με βάση μέταλλα. Είναι επίσης δυνατό να συντελεστεί αποχρωματισμός στρωμάτων που περιέχουν μείγμα χρωστικών με θείο και χαλκό ή μόλυβδο, για παράδειγμα η κίτρινη σανδαράχη αντιδρά με το λευκό του μολύβδου, ενώ και οι δύο ουσίες αλλοιώνονται μετά από ανάμιξη με *verdigris*⁴⁹. Το πράσινο του *Scheele* και το πράσινο των Παρισίων (*emerald green*) διασπούν τις περισσότερες οργανικές λάκες, ενώ αλλοιώνονται αν αντιδράσουν με θείο. Τέλος, το πρωσικό κυανό έχει παρουσιάσει ενδείξεις εξασθένησης της απόχρωσής του, όταν βρίσκεται σε ανάμιξη με λευκό του μολύβδου. Μεγαλύτερη σταθερότητα στη συνύπαρξη με άλλες ύλες επιδεικνύουν οι γαιώδεις χρωστικές και το μαύρο του άνθρακα (Σημαντώνη-Μπόκολα 1987, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Kubik 2010, Τσίλαγα 2011, Μαστροθεόδωρος 2016).

Φυσικά οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν επηρεάζουν μόνο τις χρωστικές ουσίες, αλλά και τα διάφορα συνδετικά μέσα. Η αυγοτέμπερα δε φαίνεται να μεταβάλλει ιδιαίτερα την απόχρωσή της με το πέρασμα του χρόνου. Ωστόσο τα ξηραίνόμενα έλαια και ιδιαίτερα το λινέλαιο είναι εξαιρετικά επιρρεπή στη δράση των ακτινοβολιών και συγκεκριμένα στην παρατεταμένη έκθεση σε υπεριώδεις ακτίνες. Το έλαιο πολυμερίζεται, χάνει την ελαστικότητά του και μεταβάλλεται η αρχική του απόχρωση, συνήθως προς το κίτρινο. Ως εκ τούτου επηρεάζονται και οι τόνοι των χρωστικών, ιδιαίτερα των κυανών, που καταλήγουν να τείνουν στο πράσινο (Τσίλαγα 2011).

⁴⁹ Προκειμένου να αποφευχθούν οι αναφερθείσες αλλοιώσεις, η κίτρινη σανδαράχη και το *verdigris* εφαρμόζονταν συνήθως αναμεμιγμένα με ασβεστιτικές (κιμωλία, *Bianco di San Giovanni*, χρωστικές κονίες από όστρεα και κελύφη) ή ασβεστιούχες (λευκή κονία από επεξεργασία οστών) χρωματικές ύλες (Μαστροθεόδωρος 2016).

4.2 Ως προς την εμπλοκή των σύγχρονων συνθετικών χρωστικών που εντοπίστηκαν στα έργα προς εξέταση

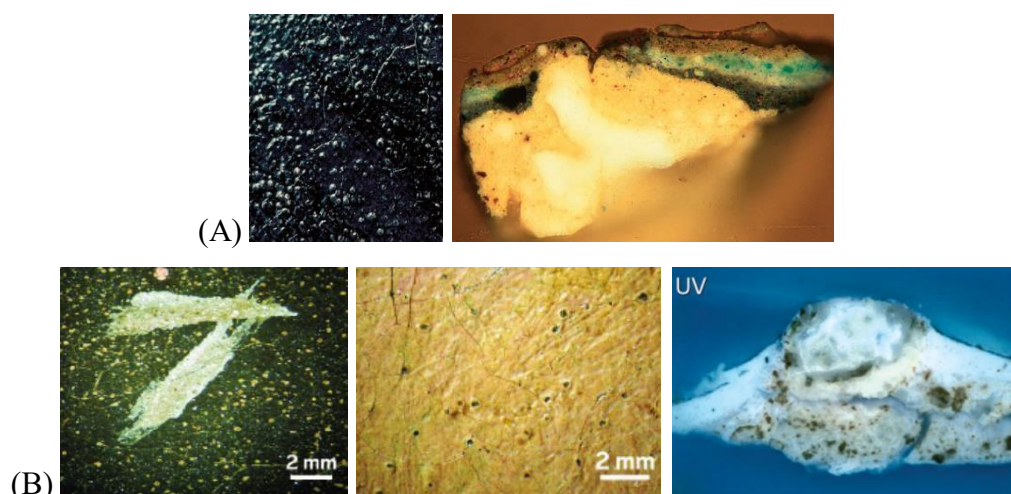
Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, οι σύγχρονες ανόργανες συνθετικές χρωστικές που εντοπίστηκαν στα εξετασθέντα έργα περιλαμβάνουν το λευκό του ψευδαργύρου, το κίτρινο του χρωμίου και το κίτρινο του καδμίου, ενώ δεν μπορεί να αποκλειστεί χωρίς περαιτέρω εξετάσεις και η χρήση συνθετικού ινδικού.

Το λευκό του ψευδαργύρου σε γενικές γραμμές τείνει να διατηρεί την λευκή του απόχρωση με το πέρασμα του χρόνου, ακόμη και εφαρμοσμένο σε ελαιώδη συνδετικά μέσα. Αυτή του η σταθερότητα, σε συνδυασμό με το ότι δεν είναι τοξικό, αποτέλεσαν τις δύο πιο σημαντικές ιδιότητες του λευκού του ψευδαργύρου που συντέλεσαν στο να αντικαταστήσει σταδιακά το λευκό του μολύβδου. Μια άλλη σημαντική ιδιότητα του λευκού του ψευδαργύρου είναι πως απορροφά σε μεγάλο βαθμό την υπεριώδη ακτινοβολία, περιορίζοντας έτσι τον πολυμερισμό του συνδετικού μέσου και την φωτοδιάβρωση των άλλων χρωστικών της περιοχής. Ωστόσο, η έκθεση του λευκού του ψευδαργύρου στο υπεριώδες μεγάλο μήκους κύματος σε συνδυασμό με την ύπαρξη υγρασίας συμβάλλει στον σχηματισμό υπεροξειδίου του υδρογόνου. Αυτό μπορεί να έχει ως συνέπεια την μετατροπή των χρωστικών σε λεπτή πούδρα. Επίσης, η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκαλέσει την μετατροπή του οξειδίου του ψευδαργύρου σε σουλφίδιο του ψευδαργύρου, ωστόσο το χρώμα του παραμένει ίδιο (Καπετανίδης 2005, Feller 2012).

Η πιο σοβαρή επίδραση που μπορεί να έχει το λευκό του ψευδαργύρου είναι πως, εξαιτίας του αλκαλικού του χαρακτήρα, μπορεί να αντιδράσει με τα όξινα στοιχεία ελαιωδών μέσων ή επικαλυπτικών υλικών, προκαλώντας σαπωνοποίηση⁵⁰ του χρωματικού στρώματος. Η σαπωνοποίηση γίνεται εμφανής με τη μορφή λευκών κηλίδων, συμπαγών συσσωματωμάτων ή και κρατήρων, επάνω, μέσα ή και κάτω από τη ζωγραφική επιφάνεια. Το φαινόμενο δεν προκαλείται μόνο από το λευκό του ψευδαργύρου, αντιθέτως έχει διαπιστωθεί πως και το λευκό του μολύβδου, το οποίο έχει επίσης αλκαλικό χαρακτήρα, εμφανίζει αντίστοιχη συμπεριφορά. Άλλες χρωστικές που μπορεί να επιφέρουν το ίδιο αποτέλεσμα είναι το κίτρινο του μολύβδου κασσιτέρου και το μίνιο (Centeno and Mahon 2009). Ωστόσο, από τη μελέτη έργων του 19^{ου} και 20^{ου} αι. έχει διαπιστωθεί πως το λευκό του ψευδαργύρου εμφανίζει μεγαλύτερη τάση σαπωνοποίησης και με πιο γρήγορους ρυθμούς. Το παραπάνω φαινόμενο μπορεί να καταστεί

⁵⁰ Ο όρος *σάπωνας* αναφέρεται στο σχηματισμό μεταλλικού άλατος ενός οργανικού λιπαρού οξέος που προκύπτει μετά την έκθεση μιας λιπαρής ύλης σε αλκαλικό περιβάλλον. Στην προκειμένη περίπτωση ο ψευδάργυρος αντιδρά με τα λιπαρά οξέα των ξηραίνόμενων ελαίων (Feller 2012).

ιδιαίτερα καταστροφικό για τα έργα τέχνης, καθώς η υφή της ζωγραφικής επιφάνειας αλλοιώνεται, γίνεται κολλώδης και ορισμένες φορές αποκτά διαφάνεια, ενώ στην περίπτωση που η σαπωνοποίηση βρίσκεται στο επίπεδο της προετοιμασίας μπορεί να προκαλέσει ακόμη και απόσπαση του ζωγραφικού στρώματος (εικόνα 76). Στην περίπτωση που οι σάπωνες εμφανιστούν επάνω στη ζωγραφική επιφάνεια, κατά πάσα πιθανότητα μπορούν να απομακρυνθούν με διάφορες διαδικασίες καθαρισμών - όχι όμως με υδατικά μέσα, καθώς έχει διαπιστωθεί ότι η υγρασία συμβάλλει στη διαδικασία σαπωνοποίησης. Στην περίπτωση όμως που σχηματιστούν κάτω από το ζωγραφικό στρώμα, που είναι και πιο επίφοβο για το έργο, η απομάκρυνσή τους κρίνεται πολύ δύσκολη (Καπετανίδης 2005, Feller 2012, Everts 2016 α).



Εικόνα 76: Παραδείγματα σαπωνοποίησης. Πηγές:(A) Centeno and Mahon 2009, (B) Everts 2016 α

Τα κίτρινα του χρωμίου εμφανίζουν πολύ καλή καλυπτικότητα, την καλύτερη από όλες τις κίτρινες χρωστικές. Ωστόσο, ειδικά τα πιο πρώιμα, ήταν αρκετά επιρρεπή στην φωτοδιάβρωση, καθώς η έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία είχε ως άμεση συνέπεια το ξεθώριασμα των χρωστικών. Αργότερα, και προκειμένου να βελτιωθεί η αντοχή τους στην ακτινοβολία, προσθέτονταν στα κίτρινα του χρωμίου διάφορες ύλες (άλατα του ψευδαργύρου, θειικός μόλυβδος, άλατα αντιμονίου, υδροξείδιο του αργιλίου, διοξείδιο του τιτανίου, γαιώδεις χρωστικές) ως φωτοχημικοί σταθεροποιητές. Τα κόκκινα του χρωμίου πάντως δεν φαίνεται να παρουσίαζαν αυτό το πρόβλημα. Επίσης, τα κίτρινα του χρωμίου τείνουν με την πάροδο του χρόνου να αποχρωματίζονται σε καστανές ή και πράσινες αποχρώσεις. Ο αποχρωματισμός αυτός οφείλεται σε μία χημική αντίδραση που πυροδοτείται επίσης από τη δράση της ακτινοβολίας, τόσο της υπεριώδους όσο και της ορατής, ακόμη και σε απουσία οξυγόνου και υγρασίας. Αμαύρωση των κίτρινων του χρωμίου προκαλείται και από την έκθεση τους σε υδρόθειο ή άλλα πτητικά θειούχα, φαινόμενο κοινό σε όλες τις χρωστικές μόλυβδου (βλ. παραπάνω και αναφορά στο λευκό του μόλυβδου). Τα κίτρινα του χρωμίου σε γενικές γραμμές είναι συμβατά με τις περισσότερες

χρωστικές. Είναι ευαίσθητα στις αλκαλικές ουσίες, και λόγω αυτού δεν λειτουργούν καλά με αλκαλικά συνδετικά μέσα και με κιμωλία. Επίσης είναι ευαίσθητα και στα οξέα. Φυσικά ένα άλλο σημαντικότατο πρόβλημα είναι και η τοξικότητα αυτών των χρωστικών (Καπετανίδης 2005, Kubik 2010, Feller 2012).

Τα κίτρινα του καδμίου πλεονεκτούν σε κάποια χαρακτηριστικά συγκριτικά με τα κίτρινα του χρωμίου. Είναι πιο ανθεκτικά στις αλκαλικές ουσίες, και επίσης δεν αποχρωματίζονται κατά την έκθεσή τους σε θειούχους ρύπους, ειδικά η μέση απόχρωση. Στην περίπτωση των ανοιχτών αποχρώσεων ωστόσο, κάτω από συνθήκες αέρα, υγρασίας και ακτινοβολίας το θειούχο κάδμιο μπορεί να μετατραπεί σε θειικό με αποτέλεσμα να χάσει το χρώμα του. Το φαινόμενο περιορίστηκε με την συγκρυστάλλωση του θειούχου καδμίου με σεληνιούχο κάδμιο (πορτοκαλί και κόκκινες χρωστικές) ή θειούχο ψευδάργυρο (ανοιχτές κίτρινες χρωστικές), όπως και με την παρασκευή του καδμοπονίου στις αρχές του 20^{ού} αιώνα. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των χρωστικών του καδμίου είναι η σταδιακή αμαύρωση με το πέρασμα του χρόνου, φαινόμενο που συνέβαινε σε μεγαλύτερο βαθμό αν η χρωστική περιείχε προσμίξεις ή νοθεύματα. Επίσης το κάδμιο καθιστά πιο σκούρο, καστανό ή και πράσινο τον τόνο χρωστικών με βάση μέταλλα, κυρίως χαλκό και μόλυβδο, ενώ παράλληλα έχει παρατηρηθεί πως το κίτρινο του καδμίου μπορεί να υποστεί αμαύρωση όταν βρίσκεται σε στενή επαφή με κίτρινο του χρωμίου. Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις δύναται να μετατρέψει χρωστικές που έχουν αναμιχθεί με αυτό σε λεπτή πούδρα (Καπετανίδης 2005, Kubik 2010, Feller 2012).

Οι ιδιότητες του συνθετικού ινδικού δεν φαίνονται να διαφέρουν ιδιαίτερα από του φυσικού. Όταν εφαρμόζεται ως λάκα δεν επηρεάζεται πολύ από την ακτινοβολία. Παρουσιάζει καλή αντοχή στην επίδραση του νερού, μέτρια στην επίδραση αλκοολών και κακιά στην επίδραση ελαιωδών μέσων. Επίσης είναι σταθερό κατά την έκθεσή του με τον ατμοσφαιρικό αέρα και την επαφή με υδρόθειο. Οι περιπτώσεις που δεν διατηρεί τη σταθερότητά του και αλλοιώνεται είναι κατά την επαφή του με όζον ή διοξείδιο του αζώτου. Το ινδικό εμφανίζει ικανοποιητική συμπεριφορά κατά τη χρήση του σε υδατικά μέσα και αυγοτέμπερα. Δεν είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στην άσβεστο, και γενικότερα δεν ενδείκνυται για τη χρήση του σε τοιχογραφίες, γιατί σε αυτό το μέσο δεν είναι ανθεκτικό στην ακτινοβολία. Αν και έχει χρησιμοποιηθεί στη ζωγραφική με ελαιώδη μέσα, εν τούτοις μπορεί με το πέρασμα του χρόνου να “δακρύνει” επάνω στη ζωγραφική επιφάνεια, καθώς είναι σε κάποιο βαθμό διαλυτό σε έλαια (FitzHugh 2012).

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα τρία αντικείμενα που εξετάστηκαν, η φορητή εικόνα Β ήταν αυτή στην οποία εντοπίστηκε πιο εκτεταμένη χρήση νέων ανόργανων συνθετικών χρωστικών. Το λευκό του ψευδαργύρου έχει χρησιμοποιηθεί στον ίππο, στα φωτίσματα του προσώπου και εν γένει σε όλες τις λευκές περιοχές, ενώ το κίτρινο του χρωμίου στο φωτοστέφανο, τον θώρακα του αγίου και εν γένει όλες τις κίτρινες και πράσινες περιοχές. Ακολουθεί η εικόνα Γ, όπου στις πράσινες περιοχές έχει χρησιμοποιηθεί κίτρινο του χρωμίου ή διένυδρο τριοξειδίου του χρωμίου (*viridian green*). Στη φορητή εικόνα Α εντοπίστηκε το μικρότερο ποσοστό νέων ανόργανων συνθετικών χρωστικών. Οι κορυφές που παραπέμπουν σε κίτρινο του καδμίου και του χρωμίου είναι ιδιαίτερα χαμηλές.

Έχοντας παρουσιάσει το σύνολο των πορισμάτων που προέκυψαν από την παρούσα πτυχιακή, προκύπτει η εξής διαπίστωση. Οι ασιγρογράφοι του 19^{ου} αιώνα δεν φάνηκε να έχουν εισάγει στο έργο τους πολλές από τις νέες συνθετικές ζωγραφικές ύλες που έκαναν την εμφάνισή τους τον ίδιο αιώνα στον ευρωπαϊκό χώρο, τουλάχιστον όσον αφορά τις ανόργανες χρωστικές. Η βασική προσθήκη στην παλέτα τους φαίνεται να ήταν το κίτρινο (και ενδεχομένως οι πορτοκαλί και κόκκινες αποχρώσεις) του χρωμίου, το οποίο εντοπίστηκε μάλλον και στα τρία έργα (με επιφύλαξη για την Εικόνα Α), και δευτερευόντως το λευκό του ψευδαργύρου. Το κίτρινο του καδμίου εντοπίστηκε γενικά σε μικρές ποσότητες, ενώ η παρουσία διένυδρου τριοξειδίου του χρωμίου (*viridian green*) δεν μπορεί να υποστηριχθεί με ασφάλεια αν δεν πραγματοποιηθούν περαιτέρω εξετάσεις. Επομένως αυτές οι δύο χρωστικές δεν μπορούν να συνυπολογιστούν ως ενδεικτικές, τουλάχιστον στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Αναφορικά με την υιοθέτηση ή μη των νέων οργανικών χρωστικών, δεν είναι δυνατόν να εξαχθεί κάποιο οριστικό συμπέρασμα. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν –όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα– δεν είναι οι πιο κατάλληλες για την ασφαλή ταυτοποίηση οργανικών ουσιών, πόσω μάλλον για τη διερεύνηση του αν πρόκειται για φυσικά ή συνθετικά υλικά.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες του κίτρινου του χρωμίου και του λευκού του ψευδαργύρου, θα μπορούσε ίσως κανείς να επιχειρηματολογήσει πως η υιοθέτησή τους δεν προέκυψε τόσο από τη διάθεση πειραματισμού με νέα υλικά, αλλά από αναγκαιότητα. Το λευκό του μολύβδου είναι επιρρεπές στην αμαύρωση, και φυσικά τοξικό. Το λευκό του ψευδαργύρου, το οποίο ξεκίνησε να προωθείται ως χρωστική το 1830, παρουσίαζε πολύ πιο ικανοποιητικές ιδιότητες, και ως εκ τούτου σταδιακά επικράτησε, αντικαθιστώντας το λευκό του μολύβδου μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα (Καπετανίδης 2005). Ακόμη και υπό αυτές τις συνθήκες, όμως, διαπιστώνεται στα έργα που εξετάστηκαν μια προτίμηση στα παραδοσιακά υλικά. Από τις τρεις

εικόνες, στις δύο εξακολουθεί να χρησιμοποιείται λευκό του μολύβδου, ενώ στην τρίτη, όπου εντοπίζεται λευκό του ψευδαργύρου, αυτό μάλλον βρίσκεται σε μίξη με λευκό του μολύβδου.

Αναφορικά με τις κίτρινες χρωστικές, τα κίτρινα που βρίσκονταν διαθέσιμα στην αγορά μέχρι και τον 18^ο αιώνα είτε δεν είχαν την λαμπρότητα, την καθαρότητα και την καλυπτικότητα των κίτρινων του χρωμίου (λ.χ. γαιώδεις χρωστικές), είτε ήταν αρκετά δύσχυρα (λ.χ. κίτρινο του μολύβδου κασιτέρου, κίτρινο της Νάπολης, κίτρινη σανδαράχη). Συχνά η χρήση κίτρινων χρωστικών –καθαρών και όχι σε μίξη με κυανές ή κόκκινες– ήταν κάτι που αποφευγόταν (Καπετανίδης 2005). Επομένως, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός πως το κίτρινο του χρωμίου υιοθετήθηκε άμεσα και σε τόσο μεγάλη έκταση. Να σημειωθεί επίσης ότι σε κανένα από τα έργα που εξετάστηκαν δεν εντοπίστηκε καμία πράσινη (ή και κυανή) χαλκούχος χρωστική. Στην Εικόνα Α σχεδόν δεν υπάρχουν πράσινα στοιχεία, ενώ στις άλλες δύο εικόνες, όπου υπάρχει πράσινο χρώμα, εμπλέκεται το κίτρινο του χρωμίου (με μια μικρή επιφύλαξη για την Εικόνα Γ).

Ένα ενδιαφέρον στοιχείο, το οποίο δεν αφορά άμεσα την υιοθέτηση νέων χρωστικών αλλά έχει να κάνει με την εισαγωγή νέων υλικών και τεχνικών, είναι η πιθανότητα να έχουν εφαρμοστεί (και) ελαιώδη μέσα σε δύο από τις εικόνες. Στην Εικόνα Α διαπιστώθηκε πως η προετοιμασία είναι πολύ λεπτή, δεν φάνηκε ιδιαίτερα απορροφητική στην στερεοσκοπική εξέταση και ενδεχομένως να φέρει ένα στρώμα *imprimatura*. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η μετάβαση από την αυγοτέμπερα και τα ξύλινα υποστηρίγματα στην τεχνική της ελαιογραφίας σε ύφασμα στην ηπειρωτική Ελλάδα δεν εντοπίζεται –τουλάχιστον σε γενικευμένη κλίμακα– πριν τον 19^ο αιώνα. Σε αυτά τα πλαίσια, οι προετοιμασίες άρχισαν να κατασκευάζονται λιγότερο απορροφητικές, λεπτότερες και πιο λιπαρές. Επομένως δεν αποκλείεται σε αυτά τα έργα του 19^{ου}-20^{ου} αιώνα να υπάρχουν δείγματα ενός συγκερασμού των δύο τεχνικών. Επίσης, σχολιάστηκε παραπάνω στην ενότητα των αποτελεσμάτων πως η ζωγραφική επιφάνεια της Εικόνας Γ παρουσιάζει ενδείξεις σαπωνοποίησης. Στην περίπτωση που κάτι τέτοιο ισχύει, αυτό σημαίνει πως υπάρχει σημαντική πιθανότητα να έχει χρησιμοποιηθεί (και) κάποιο ελαιώδες συνδετικό μέσο.

Στα πλαίσια του ζητήματος της τήρησης των συντηρητικών προτύπων και της διάθεσης – ή μη– πειραματισμού με νέα μέσα, η Εικόνα Α φαίνεται να παρουσιάζει κάποιες αντιφάσεις. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δεν αποκλείεται το υπόστρωμα της εικόνας να αποτελεί ημι-απορροφητική προετοιμασία, όπως δεν αποκλείεται να υπάρχει και *imprimatura*, στοιχεία που παραπέμπουν σε πειραματισμούς με ελαιώδη μέσα. Παράλληλα, όπως δείχθηκε και σε προηγούμενη ενότητα (βλ. “Τα αντικείμενα προς εξέταση/ Αντικείμενο Α”), ο τρόπος που έχει αποδοθεί η σύνθεση δεν ακολουθεί αυστηρά τα μεταβυζαντινά πρότυπα. Ο φυσικός χώρος έχει αποδοθεί με αρκετά φυσιοκρατικό τρόπο και με διάθεση προοπτικής, ενώ το σώμα του δράκου, αντί για το σύννηθες πράσινο, είναι ζωγραφισμένο με ανοιχτό καστανοκόκκινο χρώμα. Θα

περίμενε κανείς πως αυτή η τάση “νεωτερισμού” θα αντανakλούνταν και στην επιλογή των χρωστικών, ωστόσο από αυτή την άποψη, η Εικόνα Α είναι η μάλλον πιο συντηρητική από τις τρεις, γεγονός που ενδεχομένως σχετίζεται με το ότι προέρχεται από τη νότια Εύβοια, περιοχή όπου –λόγω μη γειννίασης με μεγάλα αστικά κέντρα- ενδεχομένως υπήρχε περιορισμένη διαθεσιμότητα χρωστικών. Από τις δύο νέες συνθετικές ανόργανες χρωστικές που αναφέρθηκαν κατά τη μελέτη των αποτελεσμάτων της εικόνας, το κίτρινο του καδμίου εντοπίζεται σε αρκετά μικρές ποσότητες, ενώ το κίτρινο του χρωμίου δεν είναι σίγουρο πως έχει χρησιμοποιηθεί. Εξάλλου, στα λίγα σημεία όπου υπάρχει καθαρά κίτρινο χρώμα, προκύπτει πως μάλλον πρόκειται για κάποια γαιώδη χρωστική, ενώ όπως προαναφέρθηκε οι πράσινες περιοχές είναι ελάχιστες. Αντιθέτως, βλέπουμε πως έχει γίνει εκτενής χρήση ορισμένων παραδοσιακών χρωστικών, όπως το λευκό του μολύβδου, το vermilion και γαιώδεις χρωστικές. Το αντικείμενο πάντως στο οποίο εντοπίζεται η μεγαλύτερη διάθεση δοκιμής νέων χρωστικών είναι η Εικόνα Β. Ο αγιογράφος έχει χρησιμοποιήσει λευκό του ψευδαργύρου και κίτρινο του χρωμίου σε μεγάλη έκταση. Ταυτόχρονα, έχουν χρησιμοποιηθεί δύο ή τρεις λάκες διαφορετικών αποχρώσεων, οι οποίες –ή κάποιες από αυτές– δεν αποκλείεται καθόλου να αποτελούν επίσης νέες συνθετικές ουσίες, όπως ίσως και το ινδικό.

Εικόνα Α



Εικόνα Β



Εικόνα Γ



	Λευκό του μολύβδου
	Λευκό του ψευδαργύρου
	Μίξη λευκού του μολύβδου, vermilion, κίτρινου του καδμίου, ίσως κίτρινο μολύβδου κασσιτέρου
	Κίτρινη/κόκκινη γαιώδης χρωστική
	Vermilion

	Όμπρα
	Πρωσικό κυανό
	Ινδικό
	Κίτρινο του χρωμίου
	Πιθανώς λάκα

	Μαύρο του άνθρακα
	Πιθανώς σιέννα
	Μίνιο/μάσσικοτ // Λάκα εωσίνης
	Μίξη πρωσικού κυανού με κίτρινο του χρωμίου
	Μίξη ινδικού με κίτρινο του χρωμίου (και κίτρινη γαιώδη χρωστική) / μίξη κίτρινης γαιώδους χρωστικής με viridian green

5.1 Προτεινόμενα ζητήματα προς μελλοντική διερεύνηση

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η φθορισμομετρία ακτίνων X, η οποία αποτέλεσε την κύρια μέθοδο διάγνωσης στην παρούσα μελέτη –οι διάφορες φωτογραφικές τεχνικές κρίνεται ορθότερο να χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικά μέσα διάγνωσης, βλ. και “Θεωρητικό Υπόβαθρο Πειραματικών Τεχνικών”– δεν μπορεί να ανιχνεύσει στοιχεία με μικρούς ατομικούς αριθμούς, και ως εκ τούτου οι οργανικές χρωστικές δεν δύνανται να ταυτοποιηθούν με ασφάλεια. Προτείνεται, στα πλαίσια μελλοντικής διερεύνησης, η εφαρμογή στα αντικείμενα περαιτέρω μεθόδων διάγνωσης, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν έχουν εφαρμοστεί σε κάθε εικόνα οργανικές χρωστικές, ποιες είναι αυτές, αν είναι φυσικές ή συνθετικές και αν έχουν εφαρμοστεί ως λάκες –που είναι το πιο πιθανό– ή ως βαφές. Οι τεχνικές που μπορούν να δώσουν τέτοιες πληροφορίες αποτελούν ως επί το πλείστον καταστρεπτικές μεθόδους, όπως η μικροφασματοσκοπία Raman (μ-Raman), η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης και η μικροανάλυση ακτίνων X (SEM-EDX).

Το ότι οι προτεινόμενες μέθοδοι είναι καταστρεπτικές υποδηλώνει την αναγκαιότητα λήψης δείγματος για την διεκπεραίωση αυτών. Ως εκ τούτου, το πρώτο ζήτημα που πρέπει να εξεταστεί στην περίπτωση επόμενης μελέτης των έργων είναι το κατά πόσο η κατάσταση διατήρησής τους καθιστά δυνατή τη λήψη δειγμάτων, και κατ’ επέκταση ποια σημεία μπορούν να επιλεγθούν για αυτόν το σκοπό. Τα σημεία αυτά θα πρέπει αφενός να βρίσκονται κοντά σε απώλειες, και αφετέρου να περιέχουν όσο το δυνατόν περισσότερη και πιο στοχευμένη πληροφορία. Επίσης, αφού επιβεβαιωθεί η δυνατότητα δειγματοληψίας, κρίνεται σκόπιμο να ληφθούν κάποια δείγματα από περιοχές όπου αν και –μάλλον– δεν υπάρχουν οργανικές χρωστικές, εντούτοις οι διαγνωστικές μέθοδοι δεν έδειξαν με σαφήνεια τι χρωστικές υπάρχουν (λ.χ. Αντικείμενο Α/ σημείο 28, Αντικείμενο Β/ σημείο 21, Αντικείμενο Γ/ σημείο 2). Ένα ακόμη ζήτημα που οπωσδήποτε χρήζει διερεύνησης είναι η παρουσία Βr σε ορισμένες κόκκινες περιοχές στην εικόνα Β, και το ενδεχόμενο παρουσίας λάκας εωσίνης. Βοηθητική και σίγουρα ενδιαφέρουσα θα ήταν η εξέταση των σημείων με οπτική μικροσκοπία (ΟΜ) και ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM).

Σε διάφορα σημεία της παρουσίασης των αποτελεσμάτων, κυρίως αναφορικά με το αντικείμενο Α, έχουν διατυπωθεί προβληματισμοί αναφορικά με το αν υπάρχει εμπλοκή ξηραϊνόμενων ελαίων, είτε στην προετοιμασία και το πρόστυμμα του χρυσώματος, είτε στο συνδετικό υλικό των χρωματικών στρωμάτων. Παράλληλα, στην ενότητα όπου διερευνώνται οι πιθανές συνέπειες της εμπλοκής νέων συνθετικών χρωστικών στην κατάσταση διατήρησης των ζωγραφικών έργων, γίνεται σαφές πως συχνά η συμπεριφορά των υλικών διαφέρει ανάλογα με το

εκάστοτε συνδετικό μέσο. Ως εκ τούτου, θα ήταν χρήσιμο να προσδιοριστεί η σύσταση τόσο της προετοιμασίας, όσο και του συνδετικού υλικού των τριών εικόνων. Για τον σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν καταστρεπτικές τεχνικές, όπως ο εκλεκτικός χρωματισμός, η φασματοσκοπία υπερύθρου (FTIR), η αέρια χρωματογραφία (GC), η μικροανάλυση ακτίνων X (EDX) και η μικροφασματοσκοπία Raman (μ-Raman). Αφού διευκρινιστούν αυτά τα στοιχεία, ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα θα ήταν και μία μελέτη εστιασμένη στις φθορές της ζωγραφικής επιφάνειας και τους πιθανούς συσχετισμούς αυτών με το είδος των χρωστικών που έχουν χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα, δεν αποκλείεται οι διάσπαρτες οπές και κρατήρες που εντοπίζονται στην εικόνα Γ, ιδιαίτερα στις λευκές και κυανές περιοχές, να αποτελούν σύμπτωμα σαπωνοποίησης του λευκού του μολύβδου.

Η μελέτη των χρωστικών που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή εργασία, σε συνδυασμό με κάποια πιθανή μελλοντική διερεύνηση του αν και σε ποιο βαθμό αυτοί οι αγιογράφοι έχουν υιοθετήσει την χρήση ξηραϊνόμενων ελαίων στη ζωγραφική τους, δύναται να προσφέρει μια κάπως πιο ολοκληρωμένη αντίληψη των τρόπων και των χαρακτηριστικών της όψιμης μεταβυζαντινής ζωγραφικής αυτής της περιόδου-μεταίχμιο, από τα μέσα του 19^{ου} ως τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Σε αυτό το πνεύμα, στην περίπτωση που τα συνδυαστικά πορίσματα παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση από εικόνα σε εικόνα, θα μπορούσε να εξεταστεί το ενδεχόμενο οι διαφορετικοί ζωγραφικοί τρόποι να σχετίζονται με τους τόπους προέλευσης των έργων. Ως εκ τούτου, στα προτεινόμενα ζητήματα προς διερεύνηση θα μπορούσε να συμπεριληφθεί ο σαφέστερος προσδιορισμός του τόπου ή ενδεχομένως και του εργαστηρίου κατασκευής κάθε έργου, και ίσως η αναζήτηση και μελέτη άλλων έργων της ίδιας προέλευσης για συγκριτικούς σκοπούς.

Σε κάθε περίπτωση, είναι γεγονός πως η υιοθέτηση (ή μη) νέων συνθετικών χρωστικών από τους αγιογράφους του 19^{ου} αιώνα στον ελλαδικό χώρο αποτελεί ένα πεδίο σε μεγάλο βαθμό αδιερεύνητο. Το ζήτημα αυτό αποφέρει οπωσδήποτε πιο ενδιαφέροντα πορίσματα όταν προσεγγίζεται σε αντιδιαστολή με τον διαχρονικά συντηρητικό χαρακτήρα της βυζαντινής τέχνης, κάτι που επιδίωξε η παρούσα πτυχιακή. Ωστόσο, ο περιορισμένος αριθμός των αντικειμένων που εξετάστηκαν δεν επιτρέπει την εξαγωγή γενικευμένων συμπερασμάτων. Στα πλαίσια λοιπόν των προτεινόμενων μελλοντικών ζητημάτων προς διερεύνηση, κρίνεται πως θα ήταν μεγάλη η συνεισφορά περαιτέρω μελετών εστιασμένων στις χρωστικές όψιμων ελληνικών φορητών εικόνων.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

Alexopoulou, A., Kaminari, A. (2014). “The evolution of imaging techniques in the study of manuscripts”, *J Manuscript Cultures*, **7**, pp.58–68.

Anselmi, C., Capitani, D., Tintaru, A., Doherty, B., Sgamellotti, A., Miliani, C. (2017). “Beyond the color: A structural insight to eosin-based lakes”, *Dyes and Pigments*, **140**, pp. 297–311, DOI: 10.1016/j.dyepig.2017.01.046.

Ball, P. (2012). “The Invention of Colour”, *Interfaces*, **33**, pp. 1–32, College of the Holy Cross, USA. <https://www.holycross.edu/interfaces/interfaces-volume-33>

Brouwer, P. (2003). *Theory of XRF. Getting acquainted with the principles*. PANalytica, The Netherlands.

Burgio, L., Clark, R. J.H., Theodoraki, K. (2003). “Raman microscopy of Greek icons: identification of unusual pigments”, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **59**: Issue 10, pp. 2371–2389. [https://doi.org/10.1016/S1386-1425\(03\)00079-9](https://doi.org/10.1016/S1386-1425(03)00079-9).

Centeno, S.A., Mahon, D. (2009). “The Chemistry of Aging in Oil Paintings: Metal Soaps and Visual Changes”. *The Metropolitan Museum of Art Bulletin*, Summer 2009, pp.12–19.

Cooksey, C.J. (2013). “Tyrian Purple: The First Four Thousand Years”. *Science Progress*, **96**:2, 171–186. DOI:10.3184/003685013X13680345111425

Cosentino, A. (2015). “Multispectral imaging and the art expert”, *Spectroscopy Europe*, **27**, No.2, pp. 6–9. <https://www.spectroscopyeurope.com/>

Daniilia, S., Bikiaris, D., Burgio, L., Gavala, P., Clark, R.J., & Chrysoulakis, Y. (2002). “An extensive non-destructive and micro-spectroscopic study of two post-Byzantine overpainted icons of the 16th century”, *Journal of Raman Spectroscopy*, **33**, pp.807–814. DOI: 10.1002/jrs.907

Daniilia, S., Sotiropoulou, S., Bikiaris, D., Salpistis, C., Karagiannis, G., Chrysoulakis, Y. (2004). “Diagnostic methodology for the examination of Byzantine frescoes and icons. Non-

destructive investigation and pigment identification”, *Comprehensive Analytical Chemistry*, Vol. **42**: Ch.12, pp.565–604. DOI: 10.1016/S0166-526X(04)80016-3.

Delaney, J. K., Thoury, M., Zeibel, J. G., Ricciardi, P., Morales, K. M., Dooley, K. A. (2016). “Visible and infrared imaging spectroscopy of paintings and improved reflectography”, *Heritage Science*, **4**:6. DOI: 10.1186/s40494-016-0075-4

de la Rie, E. René. (1982). “Fluorescence of Paint and Varnish Layers (Part I)”, *Studies in Conservation*, **27**, No.1, pp. 1–7. JSTOR, DOI: 10.2307/1505977.

Eastaugh, N., Walsh, V., Chaplin, T., Siddall, R. (2004). *The Pigment Compendium: A Dictionary of Historical Pigments*. Elsevier, Butterworth Heinemen.

Everts, S. (2016). “Van Gogh’s Fading Colors”, *Chemical & Engineering News*, **94**:5, pp. 32–33, C&EN Global Enterprise 2016. DOI: 10.1021/cen-09405-scitech1
<<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/cen-09405-scitech1#>> πρόσβαση 11η Οκτωβρίου 2022

Everts, S. (2016). “Art conservators struggle with microscopic eruptions in masterpieces: Lurking in paint layers, metal soaps are forming and damaging paintings”, *Chemical & Engineering News*, **94**:21. <<https://cen.acs.org/articles/94/i21/Art-conservationists-struggle-microscopic-eruptions.html>> πρόσβαση 28η Σεπτεμβρίου 2022

Feller, R. (2012). *Artists’ Pigments: A Handbook of their History and Characteristics. Volume I*. National Gallery of Art, Washington. In association with Archetype Publications Ltd, London.

FitzHugh, E.W. (2012). *Artists’ Pigments: A Handbook of their History and Characteristics. Volume III*. National Gallery of Art, Washington. In association with Archetype Publications Ltd, London.

Gettens R.J., Stout G.L. (1966). *Painting Materials: A short encyclopaedia*, Dover, New York.

Gulotta, D., Goidanich, S., Bertoldi, M., Bortolotto, S., Toniolo, L., (2012). “Gildings and false gildings of the baroque age: characterization and conservation problems”, *Archaeometry*, **54**:5, pp.940-54.

Kakoulli, I. (2002). “Late Classical and Hellenistic painting techniques and materials: a review of the technical literature”. *Studies in Conservation*, **47**:1, 56–67. DOI: 10.1179/sic.2002.47.Supplement-1.56

Karapanagiotis, I. (2019). “A Review on the Archaeological Chemistry of Shellfish Purple”. *Sustainability*, **11**:13, 3595. DOI: 10.3390/su11133595

Karapanagiotis, I., Minopoulou, E., Valianou, L., Daniilia, S., Chryssoulakis, Y. (2009). “Investigation of the colourants used in icons of the Cretan School of iconography”. *Analytica Chimica Acta*, **647**:2, pp.231–42. DOI: 10.1016/j.aca.2009.06.012.

Karapanagiotis, I., Lampakis, D., Konstanta, A., Farmakalidis, H.V. (2013). “Identification of colourants in icons of the Cretan School of iconography using Raman spectroscopy and liquid chromatography”, *Journal of Archaeological Science*, **40**, pp.1471–1478.

Kirby, J., Saunders, D. (2004). “Fading and Colour Change of Prussian Blue: Methods of Manufacture and the Influence of Extenders”, *National Gallery Technical Bulletin*, **25**, pp.73–99.

Kirby, J., Spring, M., Higgitt, C. (2005). “The technology of red Lake pigment manufacture: Study of the dyestuff substrate”, *National Gallery Technical Bulletin*, **26**, pp.71–87.

Kubik, M.E. (2010). “Preserving the Painted Image: The Art and Science of Conservation”, *Colour: Design & Creativity*, **5**: 5, pp.1–8, Published online: 16 July 2010, Art Gallery of Western Australia, Australia.
Available online at: <http://www.colour-journal.org/2010/5/5/>

Mairinger, F. (2000). “The ultraviolet and fluorescence study of paintings and manuscripts”, *Radiation in Art and Archeometry*, Ed. D.C. Creagh, D.A. Bradley, pp. 56–75.

Mastrotheodoros, G.P., Beltsios, K.G., Bassiakos, Y. (2020). “On the blue and green pigments of post-Byzantine Greek icons”, *Archaeometry*, **62**:4, pp.774–795.
DOI: 10.1111/arc.12537

Mastrotheodoros, G.P., Beltsios, K.G., Bassiakos, Y. (2021). “On the red and yellow pigments of post-Byzantine Greek icons”, *Archaeometry*, **63**:4, pp.753–778.
DOI: 10.1111/arc.12642

Mastrotheodoros, G.P., Beltsios, K.G. (2022). “Recipes for pigment manufacturing in greek post-byzantine painting manuals”, *Scientific Culture*, **8**:1, 147–159. DOI: 10.5281/zenodo.5772478
<https://sci-cult.com/recipes-for-pigment-manufacturing-in-greek-post-byzantine-painting-manuals/> [accessed 01 Sep 2022].

Mayer, R. (1970). *The Artist's Handbook Of Materials And Techniques*. 3rd ed., Revised and expanded. The Viking Press. New York.

Mafredas, T. (2017). *The color palette in the Byzantine icons (Lab Course A4)*, Kalamata.

Available online at:

https://www.academia.edu/31740791/THE_COLOR_PALETTE_IN_THE_BYZANTINE_ICONS

Merkaj, E., Civici, N. (2020). “Application of a Portable XRF Spectrometer for In-Situ and Nondestructive Investigation of Pigments in Two 15th Century Icons”, *Open Journal of Applied Sciences*, **10**, pp.305–317. DOI: 10.4236/ojapps.2020.106023.

Mora, P., Mora, L., Phillipot, P. (1984). *The conservation of Wall Paintings*. Butterworths.

Pelagotti, A., Pezzati, L., Bevilacqua, N., Vascotto, V., Reillon, V., Daffara, C. (2005). “A study of UV fluorescence emission of painting materials”, In : *Art 05: 8th International Conference on "Non-Destructive Testing and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage"*, Lecce, Italy, 15–19 May 2005.

Richter, M. (2007). “Shedding some new light on the blue pigment ‘vivianite’ in technical documentary sources of northern Europe”, *ArtMatters: Netherlands Technical Studies in Art*, **4**, pp. 37–53, Zwolle 2007.

Roy, A. (2012). *Artists’ Pigments: A Handbook of their History and Characteristics. Volume II*. National Gallery of Art, Washington. In association with Archetype Publications Ltd, London.

Sabatini, F., Eis, E., Degano, I., Thoury, M., Bonaduce, I., Lluveras-Tenorio, A., (2020). “The issue of eosin fading: A combined spectroscopic and mass spectrometric approach applied to historical lakes”, *Dyes and Pigments*, **180**, DOI: 10.1016/j.dyepig.2020.108436.

San Andrés, M., de la Roja, J.M., Baonza, V.G., Sancho, N. (2010). “Verdigris pigment: a mixture of compounds. Input from Raman spectroscopy”, *Journal of Raman Spectroscopy*, **41**: pp. 1468–1476. DOI: 10.1002/jrs.2786

Saunders, D., Kirby, J. (1994). “Light-induced Colour Changes in Red and Yellow Lake Pigments”, *National Gallery Technical Bulletin*, **15**: pp. 79–97.

http://www.nationalgallery.org.uk/technical-bulletin/saunders_kirby1994

Sotiropoulou, S., Daniilia, S. (2010). “Material aspects of icons. A review on physicochemical studies of Greek icons”. *Accounts of chemical research*, **43**:6, pp. 877–87. DOI: 10.1021/ar1000082

Stratis, J. A., Makarona, C., Lazidou, D., Sánchez, E. G., Koutsoudis, A., Pamplona, M., Pauswein, R., Pavlidis, G., Simon, S., Tsirliganis, N. (2014). “Enhancing the examination workflow for Byzantine icons: Implementation of information technology tools in a traditional context”. *Journal of Cultural Heritage*, **15**:1, pp.85–91. DOI: 10.1016/J.CULHER.2012.07.001

Townsend, J.H., Carlyle, L., Khandekar, N., Woodcock, S. (1995). “Later nineteenth century pigments: Evidence for additions and substitutions”, *The Conservator*, **19**:1. DOI: 10.1080/01410096.1995.9995096.

Verhoeven, G. (2017). “The reflection of two fields – Electromagnetic radiation and its role in (aerial) imaging”. *AARGnews*, **55**: pp. 13–18. DOI: 10.5281/zenodo.3534245

Vitorino, T. M. (2012). *A Closer Look at Brazilwood and its Lake Pigments*. Dissertation presented at Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, in fulfilment of the requirements for the Master degree in Conservation and Restoration, specialisation in Conservation Science, Lisboa.

Ελληνική

Honour, H., Fleming, J. (1998). *Ιστορία της Τέχνης*. Μεταφ. Παππάς Α., Εκδόσεις Υποδομή, Αθήνα.

Αλεξοπούλου-Αγοράνου, Α., Χρυσουλάκης, Γ. (1993). *Θετικές επιστήμες και έργα τέχνης*. Εκδόσεις Γκόννη, Αθήνα.

Αλεξοπούλου-Αγοράνου, Α., Θεοδωροπούλου, Ο., Τσαϊρης, Γ. (1997). “Μελέτη των υλικών και της τεχνικής κατασκευής της μεταβυζαντινής εικόνας «ο Δείπνος ο Μυστικός» του Μιχαήλ Δαμασκηνού”, *Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας*, **19**, σσ.151–166. DOI: 10.12681/dchae.1168

Αλεξοπούλου, Α. (2014). “Απεικονιστικές τεχνικές με τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας”, *Φυσικοχημικές Μέθοδοι Διάγνωσης Τεκμηρίωσης. Ενότητα 4*. Copyright Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας, Έκδ.: 1.0, Αθήνα. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: ocr.teiath.gr

Αλεξοπούλου, Α. (2014). “Διαγνωστικές Μέθοδοι με Υπέρυθρη Ακτινοβολία II: Έγχρωμη Υπέρυθρη Απεικόνιση (FCIR False Colour InfraRed), *Φυσικοχημικές Μέθοδοι Διάγνωσης Τεκμηρίωσης. Ενότητα 7*. Copyright Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας, Έκδ.: 1.0, Αθήνα. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: ocr.teiath.gr

Αλούπη, Ε. (1993). *Φύση και μικρομορφολογία των βαφών σε αρχαία κεραμικά. Μια νέα προσέγγιση στη μελέτη της κεραμικής τεχνολογίας*. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Αχειμάστου-Ποταμιάνου, Μ. (1994). *Ελληνική τέχνη: βυζαντινές τοιχογραφίες*, Εκδοτική Αθηνών.

Βοκοτόπουλος, Π., (2008). *Ελληνική Τέχνη: Βυζαντινές εικόνες*, Εκδοτική Αθηνών, Αθήνα.

Δρανδακη, Α., Βρανοπούλου, Λ., Καλλιγα, Α. (2000). “Η μελέτη των εικόνων με υπογραφή του Εμμανουήλ Λαμπάρδου στο Μουσείο Μπενάκη με τη συμβολή της τεχνικής εξέτασης”, *Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας*, **21**, σσ.189–220. DOI: 10.12681/dchae.559

Θεοχάρη, Ι. Κ. (2007). *Ο βίος του αγίου Γεωργίου σε φορητές εικόνες και σε έργα μικροτεχνίας από τα τέλη του 12ου αιώνα ως το 19ο αιώνα*. Μεταπτυχιακή διατριβή,

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

DOI: 10.26262/heal.auth.ir.109015

Καζαμία-Τσέρνου, Μ.Ι. (2015). “Ο άγιος Γεώργιος στην εικονογραφική παράδοση της Ανατολής”, *Σύνθεσις: Ηλεκτρονικό Περιοδικό Τμήματος Θεολογίας Α.Π.Θ.*, Τόμ. 8, Αρ.2: 30–87.

DOI: 10.26262/syn.v4i2.5175

Καπετανίδης, Ν. (2005). *Χρώματα ζωγραφικής & αρχιτεκτονικής. Ιστορική αναδρομή - Χημεία χρωμάτων*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Καπετανίδης, Ν. (2019). *Τεχνικές Μέθοδοι της Βυζαντινής και Μεταβυζαντινής Αγιογραφίας*. Διάλεξη, Επιμελητήριο Εικαστικών Τεχνών Ελλάδος, Θεσσαλονίκη.

http://www.eete.gr/Files/imerides/2019/Dialiksi_Kapetanidis_Chrostikes_Proto_meros.pdf

[πρόσβαση 1η Σεπτεμβρίου 2022]

Κουή, Μ., Χειλάκου, Ε., Θεοδωρακέας, Π., Δρίτσα, Β., Αβδελίδης, Ν. Π. (2016). *Μη Καταστρεπτικές και Φασματοσκοπικές Μέθοδοι Εξέτασης των Υλικών: Θεωρία, Τεχνικές και Εφαρμογές*. Συνδεδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Κουτσουρή, Α. (2007). “Θεωρία και τεχνική στην επτανησιακή ζωγραφική του 18ου αιώνα”, Στο: *Γ' Συνεδριο Ιστορίας της Τεχνης, Η τεχνη του 20ου αιώνα: Ιστορία- Θεωρία- Εμπειρία*, Θεσσαλονίκη 2007, (Επιμ. Μ. Ιωαννίδου), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ΕΕΙΤ, σσ. 317–325.

Κωνσταντουδακη-Κιτρομηλιδου, Μ. (2010). “Τάσεις και κυριότεροι εκπρόσωποι της ζωγραφικής εικόνων στην Κρήτη, την Κύπρο και τα Επτάνησα μετά την Άλωση”, *Βενετοκρατούμενη Ελλάδα. Προσεγγίζοντας την ιστορία της*, τόμ. Α': σσ. 493–534, επιστ. διεύθ. Μαλτέζου, Χ., Αθήνα-Βενετία.

Μαστροθεόδωρος, Γ. Π. (2016). *Χρωστικές και άλλα υλικά μεταβυζαντινής ζωγραφικής*. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Μιλάνου, Κ. (1987). “Η τεχνική των μεταβυζαντινών εικόνων”. *Αρχαιολογία και Τέχνες*, 22: 49–52. <https://www.archaiologia.gr/wp-content/uploads/2011/06/22-10.pdf>

Παπανικολάου, Μ.Μ. (2005). *Η Ελληνική Τέχνη του 18ου και 19ου αιώνα: Ζωγραφική-Γλυπτική*, Εκδόσεις Βάνιας, Θεσσαλονίκη.

Σημαντώνη-Μπόκολα, Α. (1987). “Τα κυριότερα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν στη ζωγραφική μέχρι το τέλος του 18ου αιώνα”. *Αρχαιολογία και Τέχνες*, 22: σσ. 46–49.

Thompson, D.V. (1997). *Αυγοτέμπερα. Θεωρία και πρακτική*, μετάφραση Α. Σπανός, εκδόσεις Αρμός, Αθήνα.

Τσίλαγα, Ε.Μ. (2011). *Οι τεχνικές της ζωγραφικής μέσα από το έργο μεγάλων ζωγράφων*, Εκδόσεις Επίκεντρο, Θεσσαλονίκη.

Χριστοφορίδου, Ε., Πρωτοπαπάς, Σ., Αλεξανδρή, Ε., Κοντογεώργης, Α. (2006). “Το περίφημο ριζάρι (ερυθρόδανο το βαφικό) και η τεχνολογία του”, *Αρχαιολογία και Τέχνες*, **99**: σσ. 85–91. <https://www.archaiologia.gr/wp-content/uploads/2011/07/99-15.pdf>

Χρυσουλάκης, Γ., Μπάρλας, Κ. (1982). “Μελέτη της στρωματογραφικής δομής με υπέρυθη φωτογραφία και ηλεκτρονική μικροανάλυση”. *Αρχαιολογία και Τέχνες*, **3**: σσ.80–86. <https://www.archaiologia.gr/wp-content/uploads/2011/06/3-17.pdf>

Ιστοσελίδες

Art and Architecture Thesaurus Online, 2000, J. Paul Getty Trust, Los Angeles, πρόσβαση 28η Σεπτεμβρίου 2022, <<http://www.getty.edu/research/tools/vocabulary/aat/>>.

CAMEO (Conservation and Art Material Encyclopaedia Online) 2007, Museum of Fine Arts, Boston, πρόσβαση 28η Σεπτεμβρίου 2022, <<http://cameo.mfa.org>>.

ChemistryViews, Wiley-VCH GmbH, a Wiley Company.

Schreiner, M., Wiesinger, R., Vetter, W. (2017). *Identification and Preservation of Cultural Heritage*. πρόσβαση 19η Αυγούστου 2022, DOI: 10.1002/chemv.201600066

ColourLex, supported by the cogito foundation.

Lipscher, J. (n.d.). *Dragon's Blood. Natural organic pigment*. πρόσβαση 3η Μαΐου 2022, <<https://colourlex.com/project/dragon-s-blood/>>.

The Science Education Resource Center (SERC), Carleton College.

Wirth, K., Barth, A. (2020). *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Macalester College, Minnesota & IUPUI, Indiana, πρόσβαση 23η Μαρτίου 2022, <<https://serc.carleton.edu/18398>>.

Τεχνικά εγχειρίδια

Βιβλιογραφία – πρότυπο αναφοράς για το πειραματικό μέρος

Αλεξοπούλου-Αγοράνου, Α., Χρυσουλάκης, Γ. (1993). *Θετικές επιστήμες και έργα τέχνης*. Εκδόσεις Γκόννη, Αθήνα.

Art&Maps: Technical Photography 2020

Pigment Checker. Πρόσβαση 28η Σεπτεμβρίου 2022, <<https://artandmaps.org/pigment-checker>>.

CAMEO (Conservation and Art Material Encyclopaedia Online) 2007, Museum of Fine Arts, Boston, πρόσβαση 28η Σεπτεμβρίου 2022, <<http://cameo.mfa.org>>.

CHSOS (© Cultural Heritage Science Open Source) 2022

Pigments Checker - Modern & Contemporary Art, Pigments Checker STANDARD v.5 πρόσβαση 28η Σεπτεμβρίου 2022, <<https://chsopensource.org/pigments-checker/>>.

Cosentino, A. (2014). “Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method”, *Heritage Science*, **2**:8. DOI:10.1186/2050-7445-2-8

Cosentino, A. (2015). “Effects of Different Binders on Technical Photography and Infrared Reflectography of 54 Historical Pigments”, *International Journal of Conservation Science*, **6**:3, pp.287–298.

Cosentino, A., Gil, M., Ribeiro, M., Mauro, R.D. (2014). “Technical photography for mural paintings: the newly discovered frescoes in Aci Sant'Antonio (Sicily, Italy)”, *Conservar Património*, **20**, pp:23–33. DOI: 10.14568/cp2015001

Μαστροθεόδωρος, Γ. Π. (2016). *Χρωστικές και άλλα υλικά μεταβυζαντινής ζωγραφικής*. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Matteini, M., Moles, A., Tiano, P. (1978). “Infrared colour films as an auxiliary tool for the investigation of paintings”, *ICOM Committee for Conservation, 5th Triennial Meeting, Zagreb*.

Moon, T., Schilling, M.R., Thirkettle, S. (1992). “Note on the Use of False-Color Infrared Photography in Conservation”, *Studies in Conservation*, **37**:1, pp.42-52. DOI: 10.2307/1506436

Piccolo, M., Basilissi, G., Cucci, C., Stefani, L., Tsukada, M. eds., (2020). *Ultraviolet, Visible and Near Infrared Reflectance Spectra of Modern Pictorial Materials in the 200-2500 nm range*, 2020 ed. SABeC IFAC-CNR Spectral Database. IFAC (“Nello Carrara” Institute of

Applied Physics), Florence, Italy. Πρόσβαση 28η Σεπτεμβρίου 2022,
<<https://spectradb.ifac.cnr.it/drs/>>.

Poole, D.M. (2017). “4.2.1 X-ray absorption edges, characteristic X-ray lines and fluorescence yields”, in *Tables of Physical & Chemical Constants*, 16th edition 1995, Kaye & Laby Online, Version 1.0 (2005).

Πρόσβαση 28η Σεπτεμβρίου 2022, <www.kayelaby.npl.co.uk>.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Συγκεντρωτικός Πίνακας Των Χρωστικών Υλών Ανά Τους Αιώνες					
ΧΡΩΣΤΙΚΗ / ΒΑΦΗ	ΧΡΩΜΑ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΟΡΓΑΝΙΚΗ / ΑΝΟΡΓΑΝΗ	ΦΥΣΙΚΗ / ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ	ΧΡΗΣΗ ΣΤΗ ΖΩΓΡΑΦΙΚΗ (ευρωπαϊκός χώρος)
ΑΠΟΧΡΩΣΕΙΣ ΚΟΚΚΙΝΟΥ					
Κόκκινη όχρα	Κόκκινο	Αιματίτης: $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ / + Μαγκεμίτης: $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Λεπιδοκροκίτης: $\gamma\text{-FeOOH}$ Παρατίθενται άλλα στοιχεία που έχουν εντοπιστεί από προηγούμενες μελέτες, κατά φθίνουσα σειρά συχνότητας-συγκέντρωσης: Si, Ca, Al, Mg, S, K, Cl, P, Ti, Na, Ni (Μαστροθεόδωρος 2016)	Ανόργανη	Φυσική / Συνθετική (αρχές 20 ^{ου} αι.)	Από την Παλαιολιθική εποχή ως σήμερα
Κόκκινη σανδαράχη (<i>realgar</i>)	Κόκκινο βαθύ / Κόκκινο - πορτοκαλί	AsS / As ₂ S ₂ / As ₄ S ₄	Ανόργανη	Φυσική / Συνθετική	Εποχή του Χαλκού - 18 ^{ος} αι.
Έγχρωμη ουσία από ρίζες ριζαριού	Ιώδες / Βαθύ κόκκινο / Βυσσινί / Κόκκινο με κυανή απόχρωση / Ροζ.	Κυριότερες βαφικές ουσίες: Αλιζαρίνη: C ₁₄ H ₈ O ₄ Πουρπουρίνη: C ₁₄ H ₈ O ₅ Ψευδοπουρπουρίνη: C ₁₅ H ₈ O ₇	Οργανική Όταν εφαρμόζεται ως λάκα (γκαράνς): μικτή	Φυσική βαφή / Συνθετική λάκα	Περίοδοι εντοπισμού χρωστικής: 2ος αι. Π.Κ.Ε. και εξής Περίοδος ευρείας χρήσης στην ευρωπαϊκή ζωγραφική: 17 ^{ος} -19 ^{ος} αι.
Συνθετική αλιζαρίνη	Βυσσινί	C ₁₄ H ₈ O ₄	Οργανική	Συνθετική	19 ^{ος} αι. και εξής
Κιννάβαρη	Κόκκινο έντονο	HgS	Ανόργανη	Φυσική	Από την αρχαιότητα ως το Μεσαίωνα

Βερμιγιόν (<i>Vermilion</i>)	Κόκκινο έντονο	HgS	Ανόργανη	Συνθετική	8 ^{ος} - 19 ^{ος} αι. Κ.Ε.
Φυσικό μίνιο	Κόκκινο - πορτοκαλί	Pb ₃ O ₄	Ανόργανη	Φυσική	Πριν τους Ρωμαϊκούς χρόνους
Συνθετικό μίνιο (ερυθρός μάλυβδος)	Κόκκινο - πορτοκαλί	Pb ₃ O ₄	Ανόργανη	Συνθετική	Ρωμαϊκοί χρόνοι - 20 ^{ος} αι.
Αίμα του δράκου (ρητίνη)	Κόκκινο	Κυριότερες βαφικές ουσίες: Δρακοροδίνη: C ₁₇ H ₁₄ O ₃ Δρακορουβίνη: C ₃₂ H ₂₄ O ₅	Οργανική	Φυσική	Ρωμαϊκοί χρόνοι - 19 ^{ος} αι.
Έγχρωμη ουσία από αιματόξυλο (<i>brazilwood</i>)	Ιώδες / Βυσσινί / Βιολέ / Μπορντώ / Βαθύ κόκκινο (αναλόγως το πρόστυμμα)	Κυριότερη βαφική ουσία: Μπραζιλίνη C ₁₆ H ₁₄ O ₅ Μπραζιλεΐνη C ₁₆ H ₁₂ O ₅	Οργανική Όταν εφαρμόζεται ως λάκα: μικτή	Φυσική βαφή / Συνθετική λάκα	Βυζαντινοί χρόνοι - 19 ^{ος} αι.
Καρμίνα (από κοχενίλη)	Αποχρώσεις από πορτοκαλί και κόκκινο μέχρι ιώδες	C ₂₂ H ₂₀ O ₁₃ (καρμινικό οξύ)	Οργανική Όταν εφαρμόζεται ως λάκα: μικτή	Φυσική βαφή / Συνθετική λάκα	16 ^{ος} αι. και εξής
Πορτοκαλί του χρωμίου / Κόκκινο του χρωμίου	Πορτοκαλί / Κόκκινο	PbO·PbCrO ₄	Ανόργανη	Συνθετική	19 ^{ος} -20 ^{ος} αι.
ΙΩΔΕΙΣ ΑΠΟΧΡΩΣΕΙΣ					
Πορφύρα	Ιώδες	6,6'-διβρωμο-ινδιγοτίνη (BrC ₆ H ₃ C(O)CNH) ₂	Οργανική	Φυσική	Εποχή του Χαλκού ως αρχές 20 ^{ου} αι.
				Συνθετική	1904 και εξής
Ιώδες οξείδιο του σιδήρου	Ιώδες	Γκρίζος αιματίτης α-Fe ₂ O ₃	Ανόργανη	Φυσική / Συνθετική (<i>caput mortu[u]m</i>)	Μεσαιωνικοί χρόνοι
ΑΠΟΧΡΩΣΕΙΣ ΚΙΤΡΙΝΟΥ					
Κίτρινη ώχρα	Κίτρινο / καστανό	Λειμωνίτης: FeO(OH)·nH ₂ O Γκαϊτίτης: α-FeOOH	Ανόργανη	Φυσική / Συνθετική (αρχές 20 ^{ου} αι.)	Από την Παλαιολιθική Εποχή ως σήμερα

		<p>Ακαγιανίτης: β-FeOOH</p> <p>Παρατίθενται άλλα στοιχεία που έχουν εντοπιστεί από προηγούμενες μελέτες, κατά φθίνουσα σειρά συχνότητας-συγκέντρωσης: Si, Al, Ca, Mg, K, P, Cl, S, Ti, Na, Mn<0,5%</p> <p>(Gettens and Stout 1966, Μαστροθεόδωρος 2016)</p>			
Κίτρινη σανδαράχη (<i>orpiment</i>)	Κίτρινο	As ₂ S ₃	Ανόργανη	Φυσική / Συνθετική (<i>king's yellow</i>)	<p>Περίοδοι εντοπισμού χρωστικής: Εποχή Χαλκού - 19ος αι</p> <p>Περίοδος ευρείας χρήσης στην ευρωπαϊκή ζωγραφική: 1300-1900</p>
Pararealgar	Κίτρινο, πιο θερμού τόνου από την κίτρινη σανδαράχη	AsS / As ₄ S ₄	Ανόργανη	Φυσική (προϊόν φωτοδιάβρωσης της κόκκινης σανδαράχης)	Παράλληλα με την κόκκινη σανδαράχη, αβέβαιο σε ποιες περιπτώσεις εφαρμόστηκε εξαρχής ως χρωστική
Μάσσικος	Κίτρινο	PbO	Ανόργανη	Συνθετική (φρύξη λιθαργύρου)	Ρωμαϊκοί Χρόνοι και εξής
Κίτρινο μολύβδου-κασσιτέρου (τύπος II & τύπος I)	Από ανοιχτό κίτρινο ως πορτοκαλί	<p>Τύπος II Pb(Sn,Si)O₃</p> <p>Τύπος I Pb₂SnO₄</p>	Ανόργανη	Συνθετική	14 ^{ος} - 18 ^{ος} αι.
Ινδικό κίτρινο	Κίτρινο	C ₁₉ H ₁₆ O ₁₁ Mg·5H ₂ O	Οργανική	Φυσική	15 ^{ος} -αρχές 20 ^{ου} αι.
Κίτρινο μολύβδου - κασσιτέρου - αντιμονίου	Έντονο κίτρινο	Pb ₂ SnSbO _{6.5}	Ανόργανη	Συνθετική	16 ^{ος} /17 ^{ος} - 19 ^{ος} αι.
Κίτρινο της Καμπότζης	Κίτρινο με διαφάνεια	<p>70-80% ρητίνη (οργανικά οξέα, λ.χ. γαμπογικό οξύ C₃₈H₄₄O₈)</p> <p>15-25% κόμμι</p>	Οργανική	Φυσική	17 ^{ος} αι. και εξής
Κίτρινο του αντιμονίου (κίτρινο της	Κίτρινο	Pb ₃ (SbO ₄) ₂	Ανόργανη	Συνθετική	Περίοδοι εντοπισμού χρωστικής: Εποχή Χαλκού

Νάπολης)					- 4 ^{ος} αι. Κ.Ε. & 1630 και εξής Περίοδος ευρείας χρήσης στη ζωγραφική: 1750-1850
Σιέννα ωμή	Θερμό κίτρινο με διαφάνεια	Γκαϊτίτης (≥50%) α-FeOOH + Ενώσεις Mn (0,6-1,5%), Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ SiO ₂ - xH ₂ O	Ανόργανη	Φυσική	Σε όλες τις φάσεις της ευρωπαϊκής ζωγραφικής
Σιέννα ψημένη	Καστανέρυθρο	Παρατίθενται άλλα στοιχεία που έχουν εντοπιστεί από προηγούμενες μελέτες, κατά φθίνουσα σειρά συχνότητας-συγκέντρωσης: Ca, K, Cl, Mg, P, Na, S, Ti (Gettens and Stout 1966, Mastrotheodoros <i>et al</i> 2021)		Συνθετική	
Κίτρινο οξυχλωρίδιο του μολύβδου (κίτρινο πατέντας)	Κίτρινο	PbCl ₂ .6PbO	Ανόργανη		Τέλη 18 ^{ου} - αρχές 19 ^{ου} αι.
Κίτρινο του χρωμίου (μέση απόχρωση)	Κίτρινο	PbCrO ₄ (87%)	Ανόργανη	Συνθετική	Αρχές 19 ^{ου} αι. και εξής
Κίτρινο του χρωμίου (primrose)	Απαλό κροκί	PbCrO ₄ · PbSO ₄ PbCrO ₄ (50%)	Ανόργανη	Συνθετική	Αρχές 19 ^{ου} αι. και εξής
Κίτρινο του χρωμίου (ανοιχτή απόχρωση)	Λεμονί	PbCrO ₄ · PbSO ₄ PbCrO ₄ (65%)	Ανόργανη	Συνθετική	Αρχές 19 ^{ου} αι. και εξής
Κίτρινο καδμίου	Από κίτρινο ως πορτοκαλί ανοιχτό	CdS	Ανόργανη	Συνθετική	1818 και εξής
Προσθήκη Zn	Ανοιχτό κίτρινο	(Cd, Zn)S	Ανόργανη	Συνθετική	Αρχές 19 ^{ου} αι. και εξής
Μερική υποκατάσταση Cd από Hg	Πορτοκαλί και κόκκινο	(Cd, Hg)S	Ανόργανη	Συνθετική	Αρχές 19 ^{ου} αι. και εξής
Ερυθρές αποχρώσεις του καδμίου	Από βαθύ πορτοκαλί ως κόκκινο	Cd(S, Se)	Ανόργανη	Συνθετική	Αρχές 19 ^{ου} αι. και εξής
Λιθοπονικό κάδμιο / Καδμοπόνιο	Από βαθύ πορτοκαλί	CdS + BaSO ₄ /	Ανόργανη	Συνθετική (BaS + Cd SO ₄ =	1921 και εξής

	ως κόκκινο	$CdS + BaCl_2$ / $BaSO_4 + 2 NaCl$		$CdS + BaSO_4$ $BaS + CdCl_2 = CdS + BaCl_2$ $BaCl_2 + Na_2SO_4 = BaSO_4 + 2NaCl$	
Κίτρινο του ψευδαργύρου	Κίτρινο	$K_2O \cdot 4ZnCrO_4 \cdot 3H_2O$	Ανόργανη	Συνθετική	1850 και εξής
Κίτρινο κοβαλτίου	Κίτρινο	$K_3[Co(NO_2)_6]$	Ανόργανη	Συνθετική	1851 και εξής
Κίτρινο στροντίου	Κίτρινο	$SrCrO_4$	Ανόργανη	Συνθετική	19 ^{ος} -20 ^{ος} αι.
Κίτρινο βαρίου	Από ανοιχτό κίτρινο ως πορτοκαλί	$BaCrO_4$	Ανόργανη	Συνθετική	Μέσα 19 ^{ου} -20 ^{ου} αι.
Κίτρινο ασβεστίου	Κίτρινο	$CaCrO_4$	Ανόργανη	Συνθετική	19 ^{ος} αι. και εξής
ΑΠΟΧΡΩΣΕΙΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ					
Πράσινη γαία	Πράσινο ελιάς	Σελαδονίτης: $K(Mg, Fe^{2+})(Fe^{3+}, Al)[Si_4O_{10}](OH)_2$ Γλαυκονίτης: $(K, Na)(Fe^{3+}, Al, Mg)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$ Παρατίθενται άλλα στοιχεία που έχουν εντοπιστεί από προηγούμενες μελέτες, κατά φθίνουσα σειρά συχνότητας-συγκέντρωσης: Ca, Cl, P, S, Ti, Na, Mn (Μαστροθεόδωρος 2016)	Ανόργανη	Φυσική	Από την αρχαιότητα ως σήμερα
Μαλαχίτης	Πράσινο	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	Ανόργανη	Φυσική	Από την Εποχή του Χαλκού ως και τον 17 ^ο αι.
Συνθετικός μαλαχίτης (Green verditer)	Πράσινο	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	Ανόργανη	Συνθετική	16 ^{ος} - 18 ^{ος} αι.
Verdigris	Γαλαζοπράσινο με κάποια διαφάνεια	Verdigris βασικό: $[Cu(CH_3COO)_2]_2 \cdot Cu(OH)_2 \cdot 5H_2O$ (κυανό) $Cu(CH_3COO)_2 \cdot Cu(OH)_2 \cdot 5H_2O$ (κυανό) $Cu(CH_3COO)_2 \cdot [Cu(OH)_2]_2$ (κυανό)	Σύμπλοκο άλας χαλκού	Συνθετική (Ρωμαϊκοί χρόνοι)	Περίοδος εντοπισμού χρωστικής: Ρωμαϊκοί χρόνοι - αρχές 20 ^{ου} αι. Περίοδος ευρείας χρήσης στη ζωγραφική:

		$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot [\text{Cu}(\text{OH})_2]_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (πράσινο) Verdigris ουδέτερο: $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$			15 ^{ος} -17 ^{ος} αι.
Ρητίνη χαλκού	Πράσινο με μεγάλη διαφάνεια	$\text{Cu}_2(\text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COO})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Σύμπλοκο άλας χαλκού	Συνθετική	15 ^{ος} -17 ^{ος} αι.
Πράσινο του Scheele	Από απαλό λαχανί ως βαθύ πράσινο	CuHAsO_3 / $\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$ και άλλες διαφοροποιήσεις	Ανόργανη	Συνθετική	1778 - αρχές 19 ^{ου} αι
Πράσινο των Παρισίων (<i>emerald green</i>)	Λαμπρό κυανό-πράσινο	$3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2 \cdot \text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	Σύμπλοκο άλας χαλκού	Συνθετική	Αρχές 19 ^{ου} αι. - μέσα 20 ^{ου} αι
Πράσινο Brunswick	Πράσινο	$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$	Ανόργανη	Συνθετική	Τέλη 18 ^{ου} αι. και εξής
Τριοξείδιο του χρωμίου	Πράσινο της ελιάς	Cr_2O_3	Ανόργανη	Συνθετική	Α' μισό του 19 ^{ου} αι. και εξής
Διένυδρο τριοξείδιο του χρωμίου (<i>viridian green</i>)	Πράσινο προς κυανό με διαφάνεια	$\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Ανόργανη	Συνθετική	Α' μισό του 19 ^{ου} αι. και εξής
Πράσινο του Rinmann / Πράσινο του κοβαλτίου	Κυανό - πράσινο	$\text{CoO} \cdot \text{ZnO}$	Ανόργανη	Συνθετική	Α' μισό του 19 ^{ου} αι. και εξής
ΑΠΟΧΡΩΣΕΙΣ ΚΥΑΝΟΥ					
Γλαυκοφανής	Κυανό	$\text{Na}_2(\text{Mg}_3\text{Al}_2)\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Ανόργανη	Φυσική	Προϊστορικοί χρόνοι
Ριβεκίτης	Κυανό	$\text{Na}_2(\text{Fe}^{2+}\text{Mg})_3(\text{Fe}_2^{3+})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Ανόργανη	Φυσική	Προϊστορικοί χρόνοι
Αιγυπτιακό κυανό	Κυανό	$\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$	Ανόργανη	Συνθετική (Αίγυπτος, πρώτη συνθετική χρωστική))	Από την Εποχή του Χαλκού ως το 700 Κ.Ε.
Αιγυπτιακό πράσινο (παραπροϊόν της διαδικασίας σύνθεσης του αιγυπτιακού κυανού)	Πράσινο	CaSiO_3	Ανόργανη	Συνθετική	Β' μισό 3 ^{ης} χιλιετίας Π.Κ.Ε.
Αζουρίτης	Κυανό	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	Ανόργανη	Φυσική	Περίοδος εντοπισμού χρωστικής: Εποχή Χαλκού - 18 ^{ος} αι. Κ.Ε. Περίοδος

					ευρείας χρήσης στη ζωγραφική: Μεσαίωνας, Αναγέννηση
Συνθετικός αζουρίτης (<i>Blue verditer</i>)	Κυανό	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	Ανόργανη	Συνθετική	17 ^{ος} - 19 ^{ος} αι. (κυρίως τοιχογραφίες)
Ινδικό φυσικό	Από σκούρο κυανό ως λουλακί	$\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$	Οργανική	Φυσική	Από την αρχαιότητα ως τέλη 19 ^{ου} αι.
Ινδικό συνθετικό	Κυανό	$\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$	Οργανική	Συνθετική	19 ^{ος} αι. και εξής
Βιβιανίτης	Κυανό	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Ανόργανη	Φυσική	Από τους ρωμαϊκούς χρόνους ως τα τέλη 18 ^{ου} αι.
Μπλε σουλτραμαρίν (λαζουρίτης)	Κυανό	$(\text{Na}, \text{Ca})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{S}, \text{O}_4, \text{S}, \text{Cl})_2$	Ανόργανη	Φυσική	6 ^{ος} αι. Κ.Ε. - 20 ^{ος} αι.
Μπλε σουλτραμαρίν συνθετικό	Κυανό	$\text{Na}_{6-10}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_{2-4}$	Ανόργανη	Συνθετική	1828 και εξής
Σμάλτο	Κυανό (μικρότερης έντασης)	Αναλόγως την εκάστοτε σύνθεση μπορεί να περιέχονται: SiO_2 (65-72%) K_2O (10-21%) CoO (2-18%) As_2O_3 (0-8%) Al_2O_3 Οξειδία Ba, Ca, Na, Mg, Ni, Fe, Cu, Mn	Ανόργανη	Συνθετική	Περίοδοι εντοπισμού χρωστικής: από την αρχαιότητα και εξής. Περίοδος ευρείας χρήσης στη ζωγραφική: 16 ^{ος} - 18 ^{ος} αι. *Πηγές υποδεικνύουν χρήση του στην κρητική ζωγραφική ήδη από το 1500
Πρωσικό κυανό	Πλούσιο κυανό	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ / $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	Σύμπλοκο άλας	Συνθετική	Αρχές 18 ^{ου} - αρχές 19 ^{ου} αι.
Κυανό του κοβαλτίου	Διαυγές κυανό	$\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	Ανόργανη	Συνθετική	Αρχές 19 ^{ου} αι. και εξής
ΚΑΣΤΑΝΕΣ ΑΠΟΧΡΩΣΕΙΣ					
Όμπρα ωμή	Πράσινο- καστανό ως βαθύ καστανό	Οξειδία Mn (8- 20%), (υδρ)οξειδία Fe, προσμίξεις	Ανόργανη	Φυσική	16 ^{ος} αι. και εξής

Όμπρα ψημένη	Βαθύ καστανέρυθρο	SiO ₂ , Al κ.α. Παρατίθενται άλλα στοιχεία που έχουν εντοπιστεί από προηγούμενες μελέτες, κατά φθίνουσα σειρά συχνότητας-συγκέντρωσης: Ca, Mg, Cl, P, K, Na (Gettens and Stout 1966, Mastrotheodoros <i>et al</i> 2021)		Συνθετική	
Καστανό Vandyke	Καστανό	C: 48-57% H: 4-6% N: 0,5-1,2% O: 37-47% Μεταλλικά στοιχεία: 1-3%	Οργανική	Φυσική	17 ^{ος} αι. και εξής
ΛΕΥΚΟ					
Ασβεστιούχες κονίες από επεξεργασία οστών	Λευκό	Ca ₃ (PO ₄) ₂	Ανόργανη	Συνθετική	Προϊστορικοί χρόνοι και εξής
Ανθρακικό ασβέστιο: Κιμωλία	Λευκό	CaCO ₃	Ανόργανη	Φυσική	Από τους προϊστορικούς χρόνους ως σήμερα
Ανθρακικό ασβέστιο: Ασβεστίτης, μάρμαρο. ασβεστόλιθος	Λευκό	CaCO ₃	Ανόργανη	Φυσική	
Ανθρακικό ασβέστιο: Λευκή άσβεστος (<i>Bianco di San Giovanni</i>)	Λευκό	CaCO ₃ + Ca(OH) ₂	Ανόργανη	Τεχνητή	Ιταλική ζωγραφική
Ανθρακικό ασβέστιο: Λευκό από κελύφη	Λευκό	CaCO ₃	Ανόργανη	Φυσική	Αναφορά σε πηγές 16 ^{ου} -17 ^{ου} αι.
Συνθετικό ανθρακικό ασβέστιο (PCC)	Λευκό	CaCO ₃	Ανόργανη	Συνθετική	19 ^{ος} αι. και εξής
Λευκό του μολύβδου	Λευκό	2PbCO ₃ .Pb(OH) ₂	Ανόργανη	Συνθετική	Από την Εποχή του Χαλκού ως τον 19 ^ο αι.
Λευκό του ψευδαργύρου	Λευκό	ZnO	Ανόργανη	Συνθετική	Γνωστό από την αρχαιότητα, αλλά σε χρήση κυρίως από τα τέλη 18 ^{ου} αι.
Λευκό του βαρίου (θειικό βάριο)	Λευκό	BaSO ₄	Ανόργανη	Φυσική (<i>βαρότης</i>) / Συνθετική (<i>Blanc fixe</i>)	1782 - 20 ^{ος} αι.

Λιθοπόνιο	Λευκό	BaSO ₄ / ZnS	Ανόργανη	Συνθετική (BaS + ZnSO ₄ = ZnS + BaSO ₄)	1874-20 ^{ος} αι.
ΜΑΥΡΟ					
Μαύρο του άνθρακα	Μαύρο	C Παρατίθενται άλλα στοιχεία που έχουν εντοπιστεί από προηγούμενες μελέτες, κατά φθίνουσα σειρά συχνότητας-συγκέντρωσης: Ca, Fe, S, Si, K, Al, Mg, P, Cl (Μαστροθεόδωρος 2016)	Οργανική	Συνθετική	Προϊστορικοί χρόνοι και εξής

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας των χρωστικών υλών που χρησιμοποιήθηκαν ανά τους αιώνες στην ευρωπαϊκή ζωγραφική, και της χημικής σύστασης αυτών. ΠΗΓΕΣ: Gettens and Stout 1966, Αλεξοπούλου-Αγοράνου και Χρυσουλάκης 1993, Καπετανίδης 2005, Feller 2012, FitzHugh 2012, Roy 2012, Μαστροθεόδωρος 2016, CAMEO

ΜΕΛΕΤΗ	ΕΡΓΑ	ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ
Χρυσουλάκης και Μπάρλας 1982	«Γέννηση», Κρητική Σχολή	Φυσικός αζουρίτης, μίγμα αζουρίτη-μαλαχίτη, verdigris ή πράσινη γαία, βερμιγιόν ή μίνιο, κόκκινη γαιώδης χρωστική (ώχρα), λευκό του μολύβδου, κόκκινη λάκα (ενδεχομένως ριζάρι), ινδικό, μαύρο του άνθρακα
Μιλάνου 1987	«Θεοτόκος Βρεφοκρατούσα Οδηγήτρια», Μουσείο Μπενάκη (α' μισό 17 ^{ου} αι.)	Βερμιγιόν, κόκκινη λάκα, λευκό του μολύβδου, κόκκινη γαιώδης χρωστική (ώχρα)
Αλεξοπούλου-Αγοράνου <i>et al</i> 1997	«Ο Δείπνος ο Μυστικός» του Μιχαήλ Δαμασκηνού (16 ^{ος} αι.)	Λευκό του μολύβδου, λευκό της κιμωλίας, κόκκινες και κίτρινες γαιώδεις χρωστικές, όμπρες, σιέννες, μάσικοτ, μίνιο, βερμιγιόν, κόκκινη λάκα (ριζάρι), αζουρίτης, ινδικό, μαλαχίτης, πράσινη γαία,

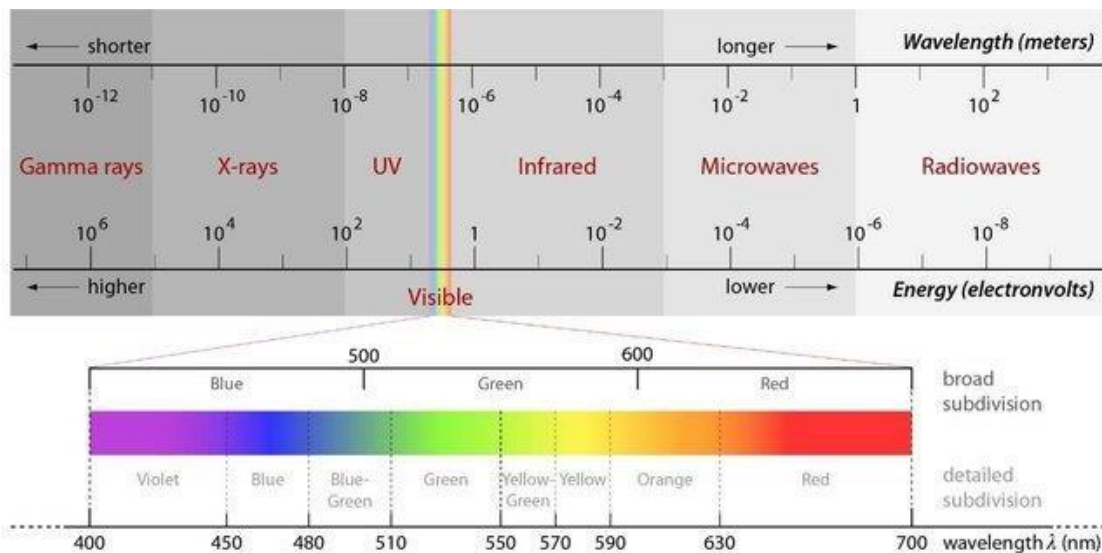
		μαύρο του άνθρακα
Δρανδάκη <i>et al</i> 2000	<p>«Αγία Αικατερίνη» (Εμμανουήλ Λαμπάρδου, 1627), αριθ. 2985</p> <p>«Ο Χριστός» (Εμμανουήλ Λαμπάρδου), αριθ. 2988</p> <p>«Η Παναγία Οδηγήτρια» (Εμμανουήλ Λαμπάρδου), αρθ.2987</p> <p>«Η Παναγία Γλυκοφιλούσα» αριθ. 2984</p> <p>[Μουσείο Μπενάκη]</p>	Κόκκινες και κίτρινες γαιώδεις χρωστικές, πράσινη γαία, βυσσινί λάκα, αζουρίτης, ινδικό, βερμιγιόν, μίνιο, λευκό του μολύβδου, μαύρο του άνθρακα,
Daniilia 2002	<p>«Η Κυρά μας, η Ζωοδόχος Πηγή» (1534)</p> <p>«Άγιος Αθανάσιος Αθωνίτης» (16^{ος} αι.)</p>	Caput mortuum, λευκό του μολύβδου, φυσική κιννάβαρη, κόκκινη λάκα, αζουρίτης, μαύρο του άνθρακα, κίτρινη γαιώδης χρωστική, πράσινη γαία, ρητίνη χαλκού
Burgio <i>et al</i> 2003	<p>«Η Ανάλυση του Κυρίου» (15^{ος} αι.) (W.15-1940)</p> <p>«Ο Ευαγγελισμός της Θεοτόκου» (18^{ος} αι.) (W.12-1942)</p> <p>«Η Βαϊοφόρος / Είσοδος στα Ιεροσόλυμα» (18^{ος} αι.) (W.14-1942)</p> <p>«Παρουσίαση του Ιησού στο Ναό» (18^{ος} αι.) (W.4-1927)</p> <p>«Η Βαϊοφόρος / Είσοδος στα Ιεροσόλυμα» (18^{ος} αι.) (W.5-1927)</p>	Κόκκινη λάκα, βερμιγιόν, κόκκινη γαιώδης χρωστική (όχρα), κίτρινη γαιώδης χρωστική, κίτρινο μολύβδου-κασσιτέρου (τύπος II), pararealgar, λευκό του μολύβδου, χαλκούχο πράσινο (πιθανόν ρητίνη χαλκού), μίνιο, σιέννες, ινδικό, πρωσικό μπλε, πράσινο από μίξη ινδικού με κίτρινη σανδαράχη, ριζάρι, κίτρινη σανδαράχη, κιμωλία, μαύρο του άνθρακα
Daniilia <i>et al</i> 2004	«Η Παναγία Οδηγήτρια» (Κρητική Σχολή)	Caput mortuum, κίτρινη γαιώδης χρωστική, πράσινη γαία, φυσική κιννάβαρη, αζουρίτης, ινδικό,

		κόκκινη λάκα (μάλλον καρμίνα από κοχενίλη), μαύρο του άνθρακα, λευκό του μόλυβδου
Karapanagiotis <i>et al</i> 2009	13 εικόνες της Κρητικής Σχολής από τον 15 ^ο ως τον 17 ^ο αι. (διερεύνηση κυρίως κόκκινων τόνων)	Λάκες από ριζάρι, αιματόξυλο, καρμίνα (σε έργα 15ου-αρχών 16ου αι από κέρμη, στα μεταγενέστερα έργα από κοχενίλη), ινδικό, βερμιγιόν, κόκκινη γαιώδης χρωστική (ώχρα), μίνιο, αζουρίτης, λευκό του μόλυβδου, μαύρο του άνθρακα
Sotiropoulou and Daniilia 2010	Δύο εικόνες της Θεομήτορος, Κρητική Σχολή (16 ^{ος} αι.) «Άγιος Αθανάσιος ο Αθωνίτης» (16 ^{ος} αι.)	Λάκες (καρμίνα από κέρμη, ριζάρι, αιματόξυλο), λευκό του μόλυβδου, κόκκινη γαιώδης χρωστική (ώχρα), μαύρο του άνθρακα, κίτρινη γαιώδης χρωστική, πράσινη γαία, βερμιγιόν
	«Θεομήτωρ Οδηγήτρια» και «Άγιος Δημήτριος», Σχολή της Γαλάτιστας (1835)	Πρωσικό μπλε, πράσινο των Παρισίων (<i>emerald green</i>)
Karapanagiotis <i>et al</i> 2013	20 εικόνες της Κρητικής Σχολής από τις αρχές του 15 ^{ου} ως το β' μισό του 17 ^{ου} αι.	Βερμιγιόν, κόκκινη γαιώδης χρωστική (ώχρα), κίτρινη γαιώδης χρωστική, μίνιο, αζουρίτης, μαλαχίτης, μπλε σουλτραμαρίν, λευκό του μόλυβδου, μαύρο του άνθρακα, ινδικό, λάκες από καρμίνα (σε έργα του 15ου αι από κέρμη, στα μεταγενέστερα έργα από κοχενίλη), λάκες από ριζάρι
Stratis <i>et al</i> 2014	«Η στέψη της Παρθένου» (α' μισό 19 ^{ου} αι.)	Λευκό του μόλυβδου, κίτρινη σανδαράχη, βερμιγιόν, μίνιο, διένυδρο τριοξειδίο του χρωμίου (<i>viridian green</i>)

<p>Μαστροθεόδωρος 2016</p>	<p>Πάνω από 50 μεταβυζαντινές φορητές εικόνες</p> <p>Από το α' μισό του 15^{ου} ως τα μέσα του 19^{ου} αι.</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, μαύρο του άνθρακα, ινδικό, αζουρίτης, τεχνητές χαλκούχες χρωστικές τύπου verditer, φυσικό μπλε ουλτραμαρίν, σμάλτο, αζουρίτης, πρωσικό μπλε, πράσινες γαίες, μίξη ινδικού με κίτρινη σανδαράχη, verdigris, μαλαχίτης, βερμιγιόν, κόκκινες και κίτρινες γαιώδεις χρωστικές, μίνιο, κόκκινες λάκες, caput mortum, όμπρες, σιέννες, κίτρινη σανδαράχη, κίτρινο μολύβδου - κασσιτέρου - αντιμονίου</p>
<p>Mastrotheodoros <i>et al</i> 2020</p>	<p>53 μεταβυζαντινές εικόνες (διερεύνηση κυανών και πράσινων χρωστικών):</p> <p>Από τα μέσα του 15^{ου} ως τα τέλη του 18^{ου} αι.</p> <p>Από τις αρχές ως τα μέσα του 19^{ου} αι.</p>	<p>Αζουρίτης, μαλαχίτης, verdigris, ρητίνες χαλκού, πράσινο του Scheele, πράσινο των Παρισίων (<i>emerald green</i>), σμάλτο, πρωσικό μπλε, πράσινη γαία, ινδικό, πράσινο από μίξη ινδικού με κίτρινη σανδαράχη, πράσινο από μίξη πρωσικού μπλε και κίτρινου μολύβδου-κασσιτέρου</p> <p>Κυανό του κοβαλτίου, λευκό του βαρίου, διένυδρο τριοξείδιο του χρωμίου (<i>viridian green</i>), πράσινο από μίξη πρωσικού μπλε και κίτρινης γαιώδους χρωστικής</p>
<p>Merkaj and Cívici 2020</p>	<p>«Ο Ευαγγελισμός της Θεοτόκου» (15^{ος} αι., Μπεράτ, Αλβανία)</p> <p>«Ο Άγιος Νικόλαος» (15^{ος} αι., Μπεράτ, Αλβανία)</p>	<p>Λευκό του μολύβδου, κίτρινες και κόκκινες γαιώδεις χρωστικές, μίνιο, κιννάβαρη, χαλκούχες χρωστικές</p>

Mastrotheodoros <i>et al</i> 2021	53 μεταβυζαντινές εικόνες (διερεύνηση κόκκινων, κίτρινων και καστανών χρωστικών): Από τα μέσα του 15 ^{ου} ως τα μέσα του 19 ^{ου} αι.	Βερμιγιόν, κόκκινες γαιώδεις χρωστικές, κίτρινες γαιώδεις χρωστικές, κίτρινη σανδαράχη, σιέννα, μίνιο, κόκκινες λάκες, μάσικκοτ, κίτρινο του αντιμονίου (κίτρινο της Νάπολης), κίτρινο μολύβδου-κασσιτέρου (τύπος I), κίτρινο μολύβδου - κασσιτέρου - αντιμονίου, κίτρινο του χρωμίου
-----------------------------------	---	---

Πίνακας 6: Οι πιο συήθειες χρωστικές της μεταβυζαντινής τέχνης, όπως προκύπτουν από μελέτες των τελευταίων χρόνων.



Εικόνα 77: Τα μήκη κύματος και η ενέργεια των περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ακτίνες γ, ακτίνες Χ, υπεριώδης ακτινοβολία, ορατή ακτινοβολία, υπέρυθρη ακτινοβολία, μικροκύματα και ραδιοκύματα).

Πηγή: Verhoeven 2017

Appendix D: NEW 2020 TRACER 5 Specifications

Features	Tracer 5g
Detector	CUBE™ 20 mm ² SDD with < 140 eV @ 450,000 cps Mn K α ; resolution for optimum light element analysis 1 μ m Graphene window
Internal camera	Internal VGA CMOS camera able to store up to 5 photos per assay
DPP Throughput	450 kcps @ 140eV, 50% downtime
Excitation source	Rhodium (Rh) thin window X-ray tube; wide range X-ray generator 5-50kV with 4.5-195 μ A, max 4 Watt output; adjustable automated X-ray voltage and current for specialized application optimization.
Spot size	User changeable collimator; 3 mm and 8 mm collimators supplied.
Filters	Operator controlled, motorized 5 position primary beam filter wheel. Manual insertion filter/secondary target slot for factory or user made filters
Beam path	Capable of selectable beam path of vacuum, helium, or air to detect elements as light as Fluorine (F) to as heavy as uranium (U)
Geometry	Features patented SharpBeam™ beam path for best performance at low power
Weight	1.9 kg (4.1 lbs) with battery or 1.6 kg (3.6 lbs) without battery
Dimensions	27.3 cm x 9.4 cm x 29.5 cm (10.75 in x 3.7 in x 11.6 in) L x W x H
Operating range	Temperature: -10°C to +50°C (+14°F to 122°F); Altitude: \leq 2,500 meters (8,200 ft.)
Power	Battery Pack — Rechargeable Smart Li-ion 7.2V, 6.8Ah, 49Wh; AC adapter — 9Vdc, 3A max; 100-240VAC @ 50-60Hz
Interactive touchscreen	High performance and contrast daylight visible TFT LCD 9.4 cm (3.7") color touchscreen display
Convenience	TrueTouch trigger switch, relaxed ambidextrous handgrip strap, and EasyAccess rail mount for accessories
Control software	Full control OS on analyzer and on PC software
Analysis software	Control of all excitation parameters and live spectra displayed on analyzer. Live spectra and qualitative, semi-quantitative and quantitative analysis on Windows® 7 or 10 PC.
Data storage & transfer	Direct storage on Thumb Drive. Data transfer to PC via USB or Wi-Fi. Bluetooth connectivity for accessories.
System safety	Password protection; Sample proximity sensor; Low count rate (backscatter) shutoff
Languages	Chinese, Chinese simplified, Croatian, Czech, Dutch, English, French, French Canadian, German, Indonesian, Italian, Japanese, Korean, Polish, PortugueseBR, Russian, SpanishMEX, SpanishSPN, Thai, Turkish
Certification	CE, FCC part 15C Class B

Πίνακας 7: Τεχνικές προδιαγραφές της φορητής διάταξης pXRF Tracer 5 της εταιρίας BRUKER.

Πηγή: Bruker, S1 TITAN/TRACER 5/CTX User Manual

Τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων φασματικής απεικόνισης MuSIS		
	MuSIS™ HS	MuSIS™ MS
Οπτικοί αισθητήρες	1/2" Progressive Scan CCD sensor	1/3" Progressive Scan CCD sensor
Ελάχιστος φωτισμός	0.001 Lux (f/1.2, 2800 K)	
Φασματική απόκριση	370-1000 nm	
Ανάλυση οπτικού αισθητήρα	1600x1200 pixels, 8 bits, 15 fps	1280x960 pixels, 8 bits, 15 fps
Φασματικές ζώνες απεικόνισης	Απεικόνιση πραγματικού χρόνου σε 34 επιλεγόμενες φασματικές ζώνες στο εύρος 370-1000 nm	Απεικόνιση πραγματικού χρόνου σε 8 επιλεγόμενες φασματικές ζώνες στο εύρος 370-1000 nm
	Ψευδοχρωματική απεικόνιση στην υπέρυθη περιοχή	
Απεικονιστική φασματοσκοπία και φασματομετρία	Βαθμονόμηση, αυτόματη φασματική σάρωση, συνεχής και αυτόματη αποθήκευση, καταγραφή και επίδειξη ενός πλήρους φάσματος ανά εικονοστοιχείο σε όλες τις επιλογές λειτουργίας (ανάκλασης, διέλευσης, φθορισμού).	
Εργαλεία ανάλυσης δεδομένων	Ανάκτηση και επισκόπηση (play-back) φασματικών και έγχρωμων εικόνων, σύγκριση φασμάτων και χρωμάτων, δισδιάστατη φασματική χρωματική ανάλυση και τμηματοποίηση της εικόνας, ενίσχυση αντίθεσης, κ.λπ.	

Πίνακας 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων φασματικής απεικόνισης MuSIS

Πηγή: Αλεξοπούλου 2014 β

PBBR2	Technical Datasheet
--------------	----------------------------

Product Information: Lead bromide is used in several applications. 1) Pigment additive. 2) Photo Voltaic cells / Solar Cells 3) Leaded Fuel such as Petrol.			
Chemical Name	LEAD BROMIDE		
Grade Name	PBBR2		
CAS No.	10031-22-8		
EINECS No.	233-084-4		
Molecular Formula	PbBr ₂		
Synonyms	<ul style="list-style-type: none"> • LEAD DIBROMIDE • LEAD(II) DIBROMIDE • PLUMBOUS BROMIDE 		
TEST	SPECIFICATION		METHOD
Appearance	Form: Crystalline Powder Colour: Off White		Visual
Purity By Pb Content	> 55.27 %		By AAS
Bromine Content	> 42.72 %		By AgNO ₃ Titration
Moisture Content	< 1 %		By KF
Insoluble Matters	< 0.5 %		Gravimetry
Solubility at 20 °C	Solvent	Solubility (gm/100ml)	Visual
	water	0.5	

<p>Product Applications:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. It is used as analytics reagents, additives and <u>preparation massicot pigment</u>. 2. It is used as acrylamide monomer light aggregation function of catalysts and can be used for photoelectric material and heat power semiconductor materials. 3. It is used as petroleum-derived herbicides, pigments ingredients and used for printing and dyeing industry.

Πίνακας 9: Τεχνικό εγχειρίδιο για το προϊόν διβρωμιούχος μόλυβδος.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 : Οι τρεις φορητές εικόνες με τις οποίες θα ασχοληθεί η παρούσα πτυχιακή.....	10
Εικόνα 2 : Πρώιμη φορητή εικόνα σε ξύλινο φορέα του βου αι Κ.Ε. (Μοναστήρι Αγίας Αικατερίνης, Όρος Σινά) Πηγή: Fleming 1998	11
Εικόνα 3 : Παράδειγμα των διαδοχικών σταδίων εφαρμογής της προετοιμασίας. Πηγή: Thompson 1997	14
Εικόνα 4 : Αριστερά: Παράδειγμα ξύλινου φορέα (Αντικείμενο Α προς εξέταση). Δεξιά: Παράδειγμα προετοιμασίας εμφανούς λόγω απώλειας (Αντικείμενο Β προς εξέταση).....	15
Εικόνα 5 : Παραδείγματα ζωγραφικής τεχνικής από το Αντικείμενο προς εξέταση Α. Αριστερά φαίνεται ο σκούρος προπλασμός και τα ανοιχτά σαρκώματα του προσώπου. Δεξιά φαίνονται τα σκούρα γραψίματα που αποδίδουν τις πτυχώσεις επάνω στο κόκκινο χρωματικό στρώμα	15
Εικόνα 6 : Δύο περιπτώσεις της κυανής χρωστικής μπλε ουλτραμαρίν εφαρμοσμένης ως λαζούρα. Πηγή: Roy 2012.....	16
Εικόνα 7 : Παράδειγμα μακροσκοπικής απεικόνισης ορυκτού αζουρίτη, μικροσκοπικής απεικόνισης κονιοποιημένου αζουρίτη εφαρμοσμένου ως χρωστική σε κυανό χρωματικό στρώμα και μακροσκοπικής απεικόνισης διερχόμενου φωτισμού κόκκων χρωστικής κονιοποιημένου αζουρίτη. Πηγή: Roy 2012.	18
Εικόνα 8 : Παράδειγμα του εύρους δυνατών αποχρώσεων που μπορεί να έχει μία φυσική βαφή (εδώ καρμίνια από κοχινίλη) ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής της (Α-С), και η παραγόμενη λάκα ανάλογα με το αδρανές πρόστυμμα που θα επιλεγθεί (D-F). Πηγή: Roy 2012.	19
Εικόνα 9 : Διαδικασία διέγερσης και αποδιέγερσης ατόμου. Πηγή: Διασκευασμένο από Brouwer 2003	37
Εικόνα 10 : Διαφοροποίηση της διεισδυτικής ικανότητας ανάμεσα στην υπεριώδη, ορατή, υπέρυθη ακτινοβολία και τις ακτίνες Χ. Πηγή: Διασκευασμένο από Schreiner <i>et al</i> 2017.....	40

Εικόνα 11 : Παράδειγμα λήψης φασματικού κύβου και φάσματος ανακλαστικότητας. Οι 12 φασματικές απεικονίσεις βρίσκονται παρατεταγμένες σε φασματικό κύβο, όπου οι άξονες x και y προσδιορίζουν κάποιο σημείο της απεικόνισης, ενώ ο άξονας z αποδίδει το ποσοστό ανακλαστικότητας του εκάστοτε σημείου στην κάθε φασματική απεικόνιση. Εδώ, στο φάσμα που έχει προκύψει από τα ποσοστά ανακλαστικότητας της κόκκινης χρωστικής (σημείο 4) στις 12 απεικονίσεις αντιπαρατίθεται ένα πρότυπο γράφημα ανακλαστικότητας % της χρωστικής βερμιγιόν στα αντίστοιχα μήκη κύματος. Πηγή: Διασκευασμένο από Cosentino 2015.....	43
Εικόνα 12 : Ο τρόπος που προκύπτουν τα λανθασμένα χρώματα κατά την έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση	44
Εικόνα 13 : Η κύρια όψη της Εικόνας Α.	47
Εικόνα 14 : Δείγματα φθορών της Εικόνας Α: (Α) απώλειες προετοιμασίας και ζωγραφικής επιφάνειας, (Β) απώλειες και βαθιά ρωγμή, (Γ) απώλειες και δίκτυα ρωγματώσεων του ζωγραφικού στρώματος.....	48
Εικόνα 15 : Ο μάρτυρας του οξειδωμένου επικαλυπτικού υλικού που έχει αφηθεί στην πάνω αριστερά γωνία του αντικειμένου Α	49
Εικόνα 16 : Η κύρια όψη της Εικόνας Β	49
Εικόνα 17 : Το λευκό απορροφητικό υπόστρωμα της Εικόνας Β, όπως φαίνεται στην περιοχή απώλειας στην αριστερή ακμή του αντικειμένου	50
Εικόνα 18 : Φθορές της Εικόνας Β: (Α) Βαθιά ρωγμή, (Β) εκδορές, (Γ) αποσπασμένο τμήμα ζωγραφικής επιφάνειας και ίσως προετοιμασίας, (Δ) οπές με βάθος που εκτείνεται στον ξύλινο φορέα, (Ε) απώλειες ζωγραφικής επιφάνειας, (Στ) οπές διαφορετικού βάθους και δίκτυα ρωγματώσεων του ζωγραφικού στρώματος, (Ζ) οξείδωση επικαλυπτικού υλικού.....	51
Εικόνα 19 : Η κύρια όψη της Εικόνας Γ.....	52
Εικόνα 20 : Δείγματα φθορών της Εικόνας Γ: (Α) Οπές και δίκτυο ρωγματώσεων της ζωγραφικής επιφάνειας, (Β) εκδορές του επικαλυπτικού υλικού, (Γ) δίκτυο ρωγματώσεων και απώλειες της ζωγραφικής επιφάνειας, (Δ) λευκές επικαθίσεις και συσσωματώματα.....	53
Εικόνα 21 : Τα σημεία στις τρεις φορητές εικόνες που επιλέχθηκαν για τη λήψη μετρήσεων με τη φορητή διάταξη pXRF	55

Εικόνα 22 : Το φορητό σύστημα υπερφασματικής απεικόνισης MuSIS™ HS και η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε.....	56
Εικόνα 23 : Παράδειγμα ενός από τα πρότυπα που αξιολογήθηκαν. Στην αριστερή εικόνα παρατίθενται διάφορες χρωστικές στο ορατό φάσμα (400-780 nm), από τη μεσαία εικόνα συνάγεται η ανάκλαση των ίδιων χρωστικών στο υπέρυθρο φάσμα (780-1100 nm) και στη δεξιά εικόνα φαίνονται τα λανθασμένα χρώματα αυτών. Πηγή: Cosentino <i>et al</i> 2014.....	57
Εικόνα 24 : Η περιοχή της κόκκινης κάπας του αγίου και το σημείο από όπου λήφθηκε η μέτρηση pXRF (σημείο8).....	59
Εικόνα 25 : Τα δύο συμπληρωματικά φάσματα pXRF του σημείου 8.....	60
Εικόνα 26 : Έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση, υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού και ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης της περιοχής της κάπας.....	61
Εικόνα 27 : Αντικείμενο A: Υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού, έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό φάσμα με την MuSIS™ HS και έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση (λανθασμένα χρώματα) με την MuSIS™ HS.....	62
Εικόνα 28 : Στο σημείο αυτό υπάρχει σημαντική απώλεια της καστανής-μαύρης περιφερειακής ταινίας, το οποίο μας επιτρέπει να δούμε πορτοκαλί υποκείμενο στρώμα γύρω από τις εναπομείνουσες νησίδες χρωματικού στρώματος.....	63
Εικόνα 29 : Πολυφασματικές απεικονίσεις ανάκλασης της εικόνας A που λήφθηκαν με την MuSIS™ HS στις φασματικές ζώνες 460nm, 500nm, 600nm, 700nm, 800nm και 940nm.....	63
Εικόνα 30 : Κατά τη στερεοσκοπική εξέταση η λευκή ταινία φαίνεται να πατά επάνω στην πορτοκαλί. Εικόνα 31: Παλαιότερη πορτοκαλί ταινία στο υποκείμενο στρώμα.....	64
Εικόνα 32 : Συγκριτικά φάσματα των σημείων 2 και 31.....	64
Εικόνα 33 : Μεγάλη απορροφητικότητα της περιοχής του προπλάσμου στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης.....	65
Εικόνα 34 : Συγκριτικά φάσματα των σημείων 4 και 24.....	66
Εικόνα 35 : Το κυανό υποκείμενο στρώμα του σημείου 26, στο ορατό φάσμα και στην έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση.....	67
Εικόνα 36 : Φάσμα από το σημείο 20 (λευκό ένδυμα). Στην πρώτη εικόνα φαίνονται οι μεγάλες κορυφές Pb, που παραπέμπουν στο λευκό του μολύβδου. Η δεύτερη εικόνα	

είναι το ίδιο φάσμα σε μεγάλη μεγέθυνση, ώστε να φανούν και οι μικρότερες κορυφές των άλλων στοιχείων του φάσματος.....	68
Εικόνα 37 : Αριστερά το φάσμα XRF και δεξιά (Α) οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης, (Β) το χρώμα στο ορατό, (Γ) η στερεοσκοπική παρατήρηση και (Δ) το λανθασμένο χρώμα του σημείου 18, που εμπεριέχει ινδικό.....	70
Εικόνα 38 : Φάσμα XRF, χρώμα στο ορατό και λανθασμένο χρώμα του σημείου που εμπεριέχει μάλλον πρωσικό κυανό	71
Εικόνα 39 : Έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση του σημείου 21	72
Εικόνα 40 : Απεικόνιση στο ορατό, έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση και ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης. Κάτω από το γόνατο του αλόγου έχει χρησιμοποιηθεί ινδικό χωρίς άλλο κυανό υπόστρωμα, ενώ δεξιά στο όρος έχει χρησιμοποιηθεί ινδικό επάνω σε πρωσικό κυανό (ή βιβιανίτη).	73
Εικόνα 41 : Στερεοσκοπική παρατήρηση της ευρύτερης περιοχής του σημείου 28.	73
Εικόνα 42 : Αριστερά το χρύσωμα στο φωτοστέφανο, όπου φαίνεται να υπάρχει καστανοκόκκινο πρόστυμμα. Δεξιά το χρύσωμα στον θώρακα, χωρίς πρόστυμμα.....	74
Εικόνα 43 : Χαρτογράφηση του συνόλου των χρωστικών που εντοπίστηκαν στην εικόνα Α.....	75
Εικόνα 44 : Τα χημικά στοιχεία που εντοπίστηκαν με το pXRF στη μορφή του Αγίου Γεωργίου.....	76
Εικόνα 45 : Φάσμα XRF από την περιοχή του κάμπου (σημείο).....	82
Εικόνα 46 : Αντικείμενο Β: Υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού, έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό φάσμα με την MuSIS™ HS και έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση (λανθασμένα χρώματα) με την MuSIS™ HS.....	83
Εικόνα 47 : Αριστερά το φάσμα XRF και δεξιά (Α) οι ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης, (Β) το χρώμα στο ορατό και (Γ) το λανθασμένο χρώμα των σημείων 2 και 7 (κίτρινο του χρωμίου).....	83
Εικόνα 48 : Πολυφασματικές απεικονίσεις ανάκλασης της εικόνας Β που λήφθηκαν με την MuSIS™ HS στις φασματικές ζώνες 440nm, 500nm, 600nm, 700nm, 800nm και 960nm.....	84
Εικόνα 49 : Συγκριτική παράθεση του φάσματος 13 από το λαιμό του αλόγου (αριστερά) και του φάσματος 9 από το φάτισμα στο πρόσωπο του αγίου (δεξιά).	84

Εικόνα 50 : (Α) Διάσπαρτοι κόκκινοι κόκκοι χρωστικής στην περιοχή της κάπας, (Β) ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης τις περιοχής, όπου φαίνεται πως οι γραμμές των πτυχώσεων έχουν καταστεί διαπερατές από τη φασματική ζώνη των 700nm και μετά, ενώ ο υπόλοιπος μανδύας όχι.	86
Εικόνα 51 : Διεσπαρμένοι κόκκοι ιώδους χρώματος επάνω στο λευκό του ψευδαργύρου, πιθανώς λάκα εφαρμοσμένη ως λαζούρα.....	86
Εικόνα 52 : (Α) Έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό, (Β) έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση και (Γ) ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης, όπου φαίνεται η διάκριση του ινδικού (φωτεινές περιοχές) από το πρωσικό κυανό (σκοτεινές περιοχές)	88
Εικόνα 53 : Φάσματα XRF των σημείων 3, 4 και 17.	88
Εικόνα 54 : Ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης: Ίδιος βαθμός απορρόφησης της ακτινοβολίας της χρωστικής του δράκου και του ενδύματος της πριγκιποπούλας	89
Εικόνα 55 : Η εσωτερη περιφερειακή ταινία μακροσκοπικά φαίνεται λευκή, αλλά στο στερεοσκόπιο έχει γαλάζιο τόνο.....	90
Εικόνα 56 : Η περιοχή της κόμης φαίνεται στο στερεοσκόπιο σαν να υπάρχει και μία στρώση πράσινου χρώματος, ίσως προπλασμός.....	91
Εικόνα 57 : Χαρτογράφηση του συνόλου των χρωστικών που εντοπίστηκαν στην εικόνα Β.....	93
Εικόνα 58 : Τα χημικά στοιχεία που εντοπίστηκαν με το pXRF στη μορφή του Αγίου Γεωργίου.....	94
Εικόνα 59 : Αντικείμενο Γ: Υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού, έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό φάσμα με την MuSIS™ HS και έγχρωμη υπέρυθρη απεικόνιση (λανθασμένα χρώματα) με την MuSIS™ HS.....	99
Εικόνα 60 : Το καστανό ανοιχτό τρίγωνο στο χρώμα του κάμπου ανάμεσα στο πόδι του αλόγου και τα φτερά του δράκου δείχνει πως το έδαφος αποτελεί χρωματικό στρώμα υπερκείμενο του κάμπου	100
Εικόνα 61 : Πολυφασματικές απεικονίσεις ανάκλασης της εικόνας Γ που λήφθηκαν με την MuSIS™ HS στις φασματικές ζώνες 460nm, 500nm, 600nm, 700nm, 800nm και 940nm.....	100
Εικόνα 62 : Κάτω από τη μαύρη ταινία διαφαίνεται το πορτοκαλοκόκκινο χρωματικό στρώμα, το οποίο σε κάποια σημεία εκτείνεται και επάνω στο στρώμα του κάμπου.....	101
Εικόνα 63 : Χρυσίζουσα κονία από την περιοχή του φωτοστέφανου.....	102

Εικόνα 64 : Περιοχή του προπλάσμου στον λαιμό του Αγίου Γεωργίου. Διακρίνονται δύο διαφορετικές περιοχές της καστανής χρωστικής, μια πιο ανοιχτή, πιθανώς υποκείμενη ενός χρωματικού στρώματος αντίστοιχου με του προσώπου, και μία πιο σκούρα, που φαίνεται να είναι το τελευταίο χρωματικό στρώμα που εφαρμόστηκε.....	102
Εικόνα 65 : Τα δύο χρωματικά στρώματα που αποδίδουν την κόμη	103
Εικόνα 66 : Έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό (αριστερά) και έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση (δεξιά) της περιοχής των χειλιών. Στο δεξί άκρο διακρίνεται ένας πιο σκούρος τόνος, που ίσως υποδεικνύει υποκείμενο στρώμα προπλάσμου	104
Εικόνα 67 : Συγκριτική παράθεση του φάσματος 4 από το φώτισμα του προσώπου (αριστερά) και του φάσματος 7 από τα κόκκινα χείλη (δεξιά).....	104
Εικόνα 68 : (Α) Έγχρωμη απεικόνιση στο ορατό, (Β) έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση και (Γ) ασπρόμαυρες απεικονίσεις ανάκλασης. Όσο η ακτινοβολία προχωρά προς το υπέρυθρο, τόσο η ανακλαστικότητα αυξάνεται. Μάλλον στο ένδυμα του αγίου έχει χρησιμοποιηθεί ινδικό	106
Εικόνα 69 : (Α) Κυανοί κόκκοι διασκορπισμένοι επάνω στο λευκό σώμα του αλόγου όπως φάνηκαν στη στερεοσκοπική εξέταση και (Β) το ροζ-σομόν λανθασμένο χρώμα στο σώμα του αλόγου	106
Εικόνα 70 : Οι σκούρες περιοχές κάτω από το λευκό στρώμα του σώματος του αλόγου, όπως φαίνονται στην ορατή και την έγχρωμη υπέρυθη απεικόνιση.....	107
Εικόνα 71 : Αριστερά το φάσμα XRF και δεξιά (Α) υπεριώδης φωτογραφία φθορισμού (αμυδρός πορτοκαλί φθορισμός στο σώμα του δράκου), (Β) στερεοσκοπική εξέταση, (Γ) το χρώμα στο ορατό και (Δ) το λανθασμένο χρώμα των σημείων	108
Εικόνα 72 : Λευκές επικαθίσεις, οπές, κρατήρες και συσσωματώματα από διάφορες περιοχές της Εικόνας Γ που ενδεχομένως να προδίδουν φαινόμενο σαπωνοποίησης. Βλ. και συγκριτικά Κεφάλαιο V, Εικόνα 27	110
Εικόνα 73 : Χαρτογράφηση του συνόλου των χρωστικών που εντοπίστηκαν στην εικόνα Γ.	110
Εικόνα 74 : Τα χημικά στοιχεία που εντοπίστηκαν με το pXRF στη μορφή του Αγίου Γεωργίου.....	111
Εικόνα 75 : Συγκριτική απεικόνιση των ποσοστών των επικρατέστερων χημικών στοιχείων που εντοπίστηκαν με το pXRF στις εικόνες Α, Β και Γ.....	116

Εικόνα 76 : Παραδείγματα σαπωνοποίησης. Πηγές:(A) Centeno and Mahon 2009, (B)

Everts 2016 α..... 123

Εικόνα 77 : Τα μήκη κύματος και η ενέργεια των περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού

φάσματος ακτίνες γ, ακτίνες X, υπεριώδης ακτινοβολία, ορατή ακτινοβολία, υπέρυθρη ακτινοβολία, μικροκύματα και ραδιοκύματα). Πηγή: Verhoeven 2017 153

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

