

# Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων μη καταστρεπτικού ελέγχου και τεκμηρίωσης συντήρησης έργων ζωγραφικής

**ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ ΣΤΕΦΑΝΙΑ**

*Υποψήφια Διδάκτορας  
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*

**ΠΑΝΤΑΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

*Καθηγητής Γεωδαισίας-Τοπογραφίας  
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*

**ΜΙΚΡΑΚΗΣ ΜΑΝΟΛΗΣ**

*Επίκουρος Καθηγητής Ιστορίας της Τέχνης της Αρχαιότητας και των Μέσων Χρόνων  
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*

## Περίληψη

Η τεκμηρίωση συντήρησης αποτελεί μία από τις σημαντικότερες διαδικασίες για την ορθή και πλήρη αποκατάσταση και συντήρηση ενός έργου ζωγραφικής. Η διεξαγωγή διαγνωστικών εξετάσεων, η αποτύπωση φθορών και αλλοιώσεων, καθώς και η συλλογή δεδομένων για τη χρονολόγηση και την ιστορία ενός έργου αποτελούν τα βασικά στοιχεία μιας τεχνικής εξέτασης. Ανάλογα με τη δομή και το περιεχόμενό τους, οι μέθοδοι διάγνωσης χωρίζονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες και πραγματοποιούνται είτε επιφανειακά, είτε στην εσωτερική δομή του έργου. Ο μη καταστρεπτικός έλεγχος ειδικότερα στοχεύει κυρίως στην εξέταση υλικών και κατασκευών χωρίς να μεταβάλλει ή να διαφοροποιεί τη φυσική τους κατάσταση, ενώ δίνεται η δυνατότητα επιτόπου επιθεώρησης και συλλογής αξιόπιστων πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Στη συγκεκριμένη εργασία, παρουσιάζονται οι πιο διαδεδομένες μεθοδολογίες τεκμηρίωσης της: Οι απεικονιστικές - οπτικές, οι χημικές και οι μετρητικές. Οι πρώτες δύο αξιοποιούν τη χωρική και φασματική ανάλυση των αντικειμένων, ενώ η τρίτη δίνει έμφαση στη συλλογή μετρητικών πληροφοριών από το κυρίως σώμα των έργων. Κάθε μια από αυτές χωρίζεται σε υποκατηγορίες, προσφέροντας διαφορετικές πληροφορίες, με διαφορετική ακρίβεια. Ωστόσο όλες παρουσιάζουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία καθορίζουν και τη χρήση τους. Τέλος εντοπίζονται πιθανά προβλήματα ή κενά, στις δύο από τις τρεις κατηγορίες (απεικονιστικές και μετρητικές), ενώ δίνονται και προτάσεις βελτίωσής τους για μελλοντική διερεύνηση.

## Λέξεις-κλειδιά:

τεκμηρίωση συντήρησης, μη καταστρεπτικές μέθοδοι, έργα ζωγραφικής, ακρίβεια

## 1. Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή, όλο και περισσότερες συζητήσεις πραγματοποιούνται για την πολιτιστική κληρονομιά και την προστασία της. Ποικίλες μεθοδολογίες συντήρησης, αποκατάστασης και διατήρησης αναπτύσσονται παγκοσμίως με κύριο στόχο την προστασία των πολιτιστικών αγαθών.

Ως πολιτιστικά αγαθά, νοούνται πλέον όλα τα κατάλοιπα που τεκμηριώνουν την ανθρώπινη σκέψη και δράση καθώς και σημαντικά επιτεύγματα που μένουν ανεξίτηλα στο χρόνο. (Μαλλούχου Tufano Φ., 2016)

Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για αγαθά που κάποτε είχαν χρηστική αξία (π.χ. σκεύη οικιακής χρήσης, εργαλεία, όπλα κλπ.), συμβολική λειτουργία (π.χ. λατρευτικά αντικείμενα, εθνικά σύμβολα κλπ.) ή πνευματική αποστολή (π.χ. ποιήματα, ιστορικά συγγράμματα, φιλοσοφικά κείμενα κλπ.), ενώ σήμερα εκτιμώνται κυρίως ως μαρτυρίες του παρελθόντος είτε έχουν απωλέσει την αρχική τους λειτουργία είτε όχι. Επιπλέον, αυτά μπορούν να ταξινομηθούν με διαφορετικά κριτήρια, όπως ο χρόνος ή ο τόπος δημιουργίας τους καθώς και η σημασία ή το είδος τους. (Κάραλη Λ., 1998)

Για την ανάλυσή τους πραγματοποιείται μελέτη, εξέταση, διαπίστωση της κατάστασης διατήρησης, διενέργεια διαγνωστικών εξετάσεων και αναλύσεων, διάγνωση, δειγματοληψία, επέμβαση συντήρησης ή αποκατάστασης, προληπτική συντήρηση κ.ά.(Χατζηδάκη Μ., 2005). Όλες αυτές οι διαδικασίες τεκμηριώνονται με κύριο στόχο την αναγνώριση της ιστορίας, αλλά και τη σταθεροποίηση της παρούσας κατάστασης, την επιμήκυνση του χρόνου ζωής και πιθανόν την αποκατάσταση μίας ή περισσότερων σημαντικών ιδιοτήτων. (Ζερβός Σ.,2015)

Με δεδομένο, λοιπόν, το πλήθος των διαφορετικών μεθόδων τεκμηρίωσης και συντήρησης που είναι σήμερα διαθέσιμες και συνεχίζουν να εμπλουτίζονται, τίθεται το ζήτημα της επιλογής των καταλληλότερων εξ αυτών για την υλοποίηση του τελικού στόχου. Έτσι, στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται μια σύντομη επισκόπηση των κυριότερων μη καταστρεπτικών τεχνικών τεκμηρίωσης και συντήρησης έργων τέχνης και ειδικότερα έργων ζωγραφικής, όπως αυτά που είναι σε καμβά, ξύλο ή τοίχο, ενώ μελετώνται και τα ψηφιδωτά. Σκοπός είναι να εντοπιστούν τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα κάθε μιας μέσα από μια συγκριτική ανάλυση, ώστε να μελετηθούν-βελτιωθούν σε μελλοντικό χρόνο.

## 2. Τεκμηρίωση συντήρησης

Με τον όρο «τεκμηρίωση» νοείται η συλλογή και καταγραφή όλων των δεδομένων που αφορούν στην υλική υπόσταση του αντικειμένου, δηλαδή τα υλικά κατασκευής του, τη δομή του (σχήμα και θέση των μερών του) στον τριδιάστατο χώρο, την τεχνοτροπία του, τον τρόπο έκθεσής (όταν αυτό απαιτείται) και τέλος την αποθήκευση και τις συνθήκες φύλαξής του. Η συλλογή των σχετικών δεδομένων γίνεται με κατάλληλες ερευνητικές διαδικασίες και μεθόδους για καθένα από τα παραπάνω. (Georgopoulos A. και Ioannidis C., 2004, Αλεξοπούλου Φ., 2018 και Ali, U.L.V.Í. κ.α, 2019)

Πιο συγκεκριμένα, με βάση το Αμερικανικό Ινστιτούτο Συντήρησης, η τεκμηρίωση πρέπει να περιλαμβάνει (A.I.C., 1994, Χατζηδάκη Μ., 2005 και Ζερβός Σ., 2015):

- Την καταγραφή της ταυτότητας του αντικειμένου, της ημερομηνίας επέμβασης, των ονομάτων και των ιδιοτήτων των συντελεστών.
- Την αναλυτική καταγραφή της δομής, των υλικών, των φθορών, της κατάστασης και της ιστορίας του αντικειμένου.
- Την περιγραφή του αντικειμένου πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος της επέμβασης.
- Τον σχεδιασμό της επέμβασης. Μετά την εξέταση και πριν την επέμβαση, ο συντηρητής οφείλει να καταγράψει και να υποβάλει στον ιδιοκτήτη ή τον έφορο το σχέδιο της επέμβασης με αιτιολογημένες τις επεμβάσεις (και βιβλιογραφικά), τους στόχους, καθώς και τους πιθανούς κινδύνους της επέμβασης.
- Τη λεπτομερή χρονολογημένη καταγραφή των διαδικασιών, των χημικών, των υλικών, των οργάνων και των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν.
- Τα αποτελέσματα των αναλύσεων, τις γνωματεύσεις και γενικά το υλικό των διάφορων εργαστηρίων των οποίων ζητήθηκε η συνδρομή, σε πρωτότυπη μορφή.

Όλα τα παραπάνω δεδομένα, τεκμηριώνονται φωτογραφικά, γραφικά, με μεθόδους εξέτασης και ανάλυσης, με αναφορά σε κάποιο έγγραφο, έντυπο ή αρχείο, με αναφορές και βιβλιογραφία, με ηχητικά ντοκουμέντα ή με αρχεία κινούμενης, ή μη, ψηφιακής ή αναλογικής εικόνας. Τα κυριότερα από αυτά είναι η φωτογραφική και γεωμετρική τεκμηρίωση.

Με τον όρο «γεωμετρική τεκμηρίωση» εννοούμε την τεκμηρίωση που περιλαμβάνει σκαριφήματα, χάρτες, τοπογραφικά σχέδια, σχεδιαστική και γραφική τεκμηρίωση φθορών, προτεινόμενων εργασιών, επεμβάσεων, αποκαταστάσεων κ.λπ. Όλα αυτά συνοδεύονται από φωτογραφικό υλικό σε κάθε στάδιο τεκμηρίωσης, ενώ το κείμενο που τα περιγράφει μπορεί να είναι είτε ελεύθερο είτε συμπληρωμένο σε προκαθορισμένες φόρμες.

### **3. Μη καταστρεπτικός έλεγχος**

Στην περίπτωση της τεκμηρίωσης πολιτιστικών αγαθών, σκόπιμο είναι να πραγματοποιηθούν μη καταστρεπτικοί έλεγχοι για την εξαγωγή ορθών και ολοκληρωμένων συμπερασμάτων.

Ο όρος «μη καταστρεπτικός έλεγχος» περιλαμβάνει μια ευρέως διαδεδομένη κατηγορία τεχνικών ανάλυσης, που προέρχονται από διάφορους τομείς των μηχανικών επιστημών. Σύμφωνα με την Αμερικανική Εταιρεία Μη Καταστρεπτικού Ελέγχου (American Society for Nondestructive Testing, ASNT), πρόκειται για την εξέταση ενός αντικείμενου με τεχνολογίες οι οποίες δεν επηρεάζουν τη μελλοντική χρησιμότητά του (Κουή Μ. κ.α., 2015).

Η βασική αρχή στηρίζεται στην κατανόηση και, εκ των προτέρων, γνώση των ιδιοτήτων των υλικών του εκάστοτε αντικείμενου, και πώς αυτά θα αλληλεπιδράσει με τον μετρητικό εξοπλισμό. Η δομή του υλικού, οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του θα καθορίσουν ποιος είναι ο καταλληλότερος μετρητικός εξοπλισμός, με στόχο τη συλλογή αξιόπιστων μετρήσεων και τελικά την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Έτσι, για την επιλογή της καταλληλότερης τεχνικής λαμβάνεται υπόψιν η κατανόηση(Shull P.J., 2002):

- της φύσης του υπό διερεύνηση προβλήματος
- των αρχών που διέπουν τη μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί
- του φαινομένου αλληλεπίδρασης του μετρητικού εξοπλισμού με το υπό εξέταση αντικείμενο
- της δυναμικής και των περιορισμών της επιλεγμένης τεχνικής

Τα παραπάνω κριτήρια είναι καθοριστικά για την επιλογή μιας μη καταστρεπτικής τεχνικής, ωστόσο σημαντικός είναι και ο ρόλος των συνθηκών των μετρήσεων ή το κόστος εφαρμογής καθώς και η απαίτηση αμεσότητας στην εξαγωγή αποτελεσμάτων.

### **4. Μη καταστρεπτικές μέθοδοι τεκμηρίωσης έργων ζωγραφικής**

Για τη συντήρηση, αποκατάσταση και προστασία ενός έργου ζωγραφικής χρησιμοποιούνται διεθνώς συγκεκριμένες μη επεμβατικές-μη καταστρεπτικές μεθοδολογίες. Αυτές διακρίνονται σε απεικονιστικές-οπτικές και μετρητικές, λαμβάνοντας υπόψιν τη χημική σύσταση των υλικών, ενώ οι πιο γνωστές εξ αυτών περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

#### **4.1 Απεικονιστικές-οπτικές μέθοδοι**

Οι απεικονιστικές τεχνικές διάγνωσης αποτελούν μία κατηγορία ψηφιακών απεικονίσεων που χρησιμοποιούνται για να τεκμηριώσουν την κατάσταση διατήρησης της ύλης των έργων ζωγραφικής, να ταυτοποιήσουν τα υλικά δημιουργίας τους αλλά και την τεχνολογία των υλικών αυτών, ώστε στη συνέχεια οι συντηρητές να πάρουν τις κατάλληλες αποφάσεις για τη διατήρησή τους. Αυτές συνδυάζουν τόσο χωρικά, όσο και φασματικά δεδομένα μελετώντας τις χωρικές και ενεργειακές συχνότητες αντίστοιχα. (Αλεξοπούλου Φ., 2018)

##### *4.1.1. Φασματοσκοπικά δεδομένα*

Η αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ύλη και οι κβαντικές μεταβολές ενέργειας κατά την απορρόφηση ή εκπομπή ακτινοβολίας είναι το κύριο χαρακτηριστικό της φασματοσκοπίας. Η αξιοποίηση συγκεκριμένων περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δηλαδή της ανάλυσης μιας δέσμης φωτός στα επιμέρους μήκη κύματός της, μπορεί να

προσφέρει πολύ σημαντικές και διαφορετικές πληροφορίες για ένα αντικείμενο. (Young D.H. και Freedman R.A., 2015 και Χειλάκου Ε., 2011)

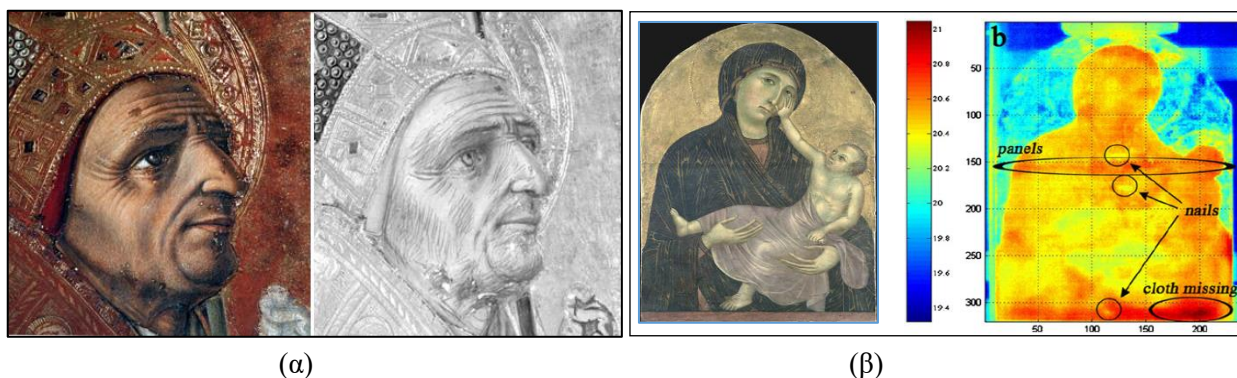
Στη συγκεκριμένη εργασία δίνεται έμφαση στο ορατό, το υπεριώδες και υπέρυθρο φάσμα και στις ακτίνες Χ, καθώς αυτά αξιοποιούνται κυρίως για τη συντήρηση έργων ζωγραφικής. (Remondino F. κ.α., 2011)

Το υπέρυθρο (IR), με μήκος κύματος από 1mm ως 0.75μm, εκπέμπει ενέργεια υπό μορφή θερμότητας, η οποία ονομάζεται υπέρυθρη ή θερμική ακτινοβολία. (Young D.H. και Freedman R.A., 2015 και Βλάχος Δ., 2015) Στην περίπτωση των έργων ζωγραφικής αξιοποιείται το εγγύς υπέρυθρο χρησιμοποιώντας ειδικά φωτογραφικά φιλμ (έγχρωμα ή ασπρόμαυρα).

Ανάλογα με τη λήψη δημιουργείται μία άλλη οπτική πραγματικότητα με διαφορές στη χρωματική παλέτα. Επίσης, με τη χρήση του υπέρυθρου φιλμ, πολλές φορές αποκαλύπτονται προηγούμενα στάδια του έργου ή στοιχεία που βρίσκονται "κρυμμένα" κάτω από το χρώμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 1(α), ενώ δίνονται και πληροφορίες και για την πρωτοτυπία και τη φθορά του έργου.

Επιπλέον, στην υπέρυθρη ακτινοβολία, αξιοποιείται η αρχή λειτουργίας της θερμογραφίας υπέρυθρου, χρησιμοποιώντας θερμικές κάμερες. Ο θερμογραφικός έλεγχος, έχει ως αποτέλεσμα μία θερμική εικόνα, ή αλλιώς ένα θερμογράφημα, που αποτυπώνει χωρικές μεταβολές της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του αντικειμένου, με διαφορετικές χρωματικές διαβαθμίσεις. Με τον τρόπο αυτό εντοπίζονται μη φυσιολογικές θερμοκρασιακές βαθμίδες και έτσι αποκαλύπτονται επιφανειακές ή υποεπιφανειακές ανωμαλίες. (Κουή Μ. κ.α., 2015)

Στην περίπτωση των έργων ζωγραφικής χρησιμοποιούνται παθητικές μέθοδοι θερμογραφικού ελέγχου οι οποίες απαιτούν τη χρήση μιας εξωτερικής πηγής ενέργειας, μέσω της οποίας διεγείρεται θερμικά το υπό εξέταση αντικείμενο. Η πιο γνωστή είναι η παθητική θερμογραφία, ενώ ανεξαρτήτως μεθόδου, απαιτείται χρήση τεχνικών επεξεργασίας θερμογραφικού σήματος για πιο ορθά αποτελέσματα. (Theodorakeas P. I., 2014, Κουή Μ. κ.α., 2015, Castellini P. κ.α., 2017) Αντίστοιχα να παράδειγμα δίνεται στην εικόνα 1(β), όπου μελετάται μία ξύλινη αγιογραφία ενώ εντοπίζονται σημαντικές αστοχίες.

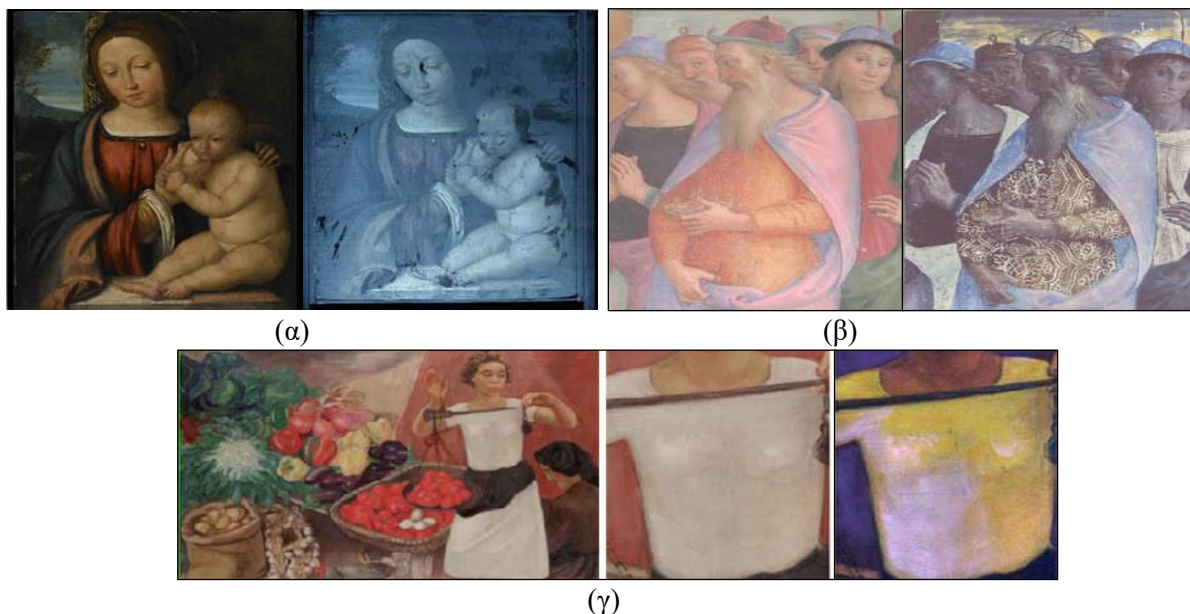


Εικόνα 1. (α) Αποκάλυψη πληροφοριών, που δεν φαίνονται στο ορατό φάσμα, με τη χρήση υπέρυθρου φιλμ, (β) Παθητική θερμογραφία σε ξύλινη αγιογραφία και εντοπισμός προβληματικών περιοχών

Πηγή: (α) <http://users.sch.gr/izogakis/>, (β) Ambrosini D. κ.α, 2010

Από την άλλη, το ορατό φως (Visible), με μήκος κύματος, περίπου, από 380 έως 750nm, είναι η πιο οικεία ακτινοβολία καθώς ανιχνεύεται με την αίσθηση της όρασης. Το φάσμα αυτό χρησιμοποιείται στη χρωματομετρία, δηλαδή στον προσδιορισμό του χρώματος κάθε στοιχείου ενός έργου ζωγραφικής. Υπάρχουν διάφορα χρωματικά συστήματα, ενώ για την ταυτοποίηση των χρωμάτων έχουν κατασκευαστεί ποικίλα όργανα μέτρησης, όπως τα τριχρωματικά χρωματόμετρα και τα φασματοφωτόμετρα. Αυτά αξιοποιούνται και στις χημικές μεθόδους ανάλυσης, καθώς εκτός από την απόχρωση εντοπίζεται και η σύσταση του εκάστοτε υλικού.

Το υπεριώδες (UV) ή αλλιώς μαύρο φως, με μήκη κύματος από 400nm έως 1nm, αναγνωρίζει το βερνίκι, ενώ αποκαλύπτει τις περιοχές προηγούμενης αποκατάστασης ή μεταγενέστερων προσθηκών σε ένα έργο ζωγραφικής. Ακόμη είναι δυνατόν να αποκαλυφθούν λεπτομέρειες που με την πάροδο του χρόνου έχουν αλλοιωθεί ή ξεθωριάσει καθώς και σημεία με διαφορετικές χρωστικές των ίδιων χρωμάτων. Τέτοια παραδείγματα δίνονται στην εικόνα 2, αντίστοιχα.



Εικόνα 2. (α) Αποκάλυψη περιοχών μεταγενέστερης επεξεργασία, (β) Εμφάνιση μη ορατών λεπτομερειών, (γ) Εντοπισμός διαφορετικών χρωστικών για το λευκό χρώμα

Πηγή: <http://www.webexhibits.org/pigments/intro/uv.html>

Τέλος, οι ακτίνες X, με μήκος κύματος από 10nm έως μερικά δέκατα του nm, χρησιμοποιούνται για τα δομικά υλικά ενός έργου, ενώ δίνουν τη δυνατότητα να εντοπιστούν παλαιότερες επισκευές στον καμβά αλλά και τρύπες στο πλαίσιο ή το υπόστρωμα του, όπως φαίνεται στην εικόνα 3. Ακόμη πολλές φορές ανακαλύπτονται «κρυμμένα» έργα καθώς πολλές φορές οι καλλιτέχνες επαναχρησιμοποιούσαν τα ίδια στηρίγματα.



Εικόνα 3. Απεικόνιση πίνακα με ακτίνες X

Πηγή: [https://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte\\_02-en.html](https://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte_02-en.html)

#### 4.1.2. Χωρικά δεδομένα

Αντίστοιχα, σχετικά με τα χωρικά δεδομένα, οι εικόνες υφίστανται επεξεργασία ως ένας τύπος σήματος, όπου κάθε εικονοστοιχείο τους αντιπροσωπεύεται από ένα σύνολο τιμών, συνήθως τη



φωτεινότητα ή το χρώμα. Με την επεξεργασία αυτή προκύπτει ως έξοδος μία νέα εικόνα ή συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που αντιστοιχούν σε αυτή. Έτσι, στην περίπτωση της συντήρησης και αποκατάστασης έργων ζωγραφικής, εντοπίζονται τα προβλήματα, ενώ πραγματοποιείται και ψηφιακή αποκατάσταση για συμπλήρωση κενών και άλλων αλλοιώσεων του πραγματικού αντικειμένου.

Η μέθοδος αυτή, έγκειται στην επιστήμη της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων και της τεχνολογίας υπολογιστών, ενώ περιλαμβάνει την αναπαράσταση, προεπεξεργασία, βελτίωση, αποκατάσταση, ανάλυση, τμηματοποίηση και ανακατασκευή εικόνων. (Mol V.R. και Maheswari P.U., 2020) Αφού λοιπόν πραγματοποιηθεί αποκατάσταση της ποιότητας της εικόνας με την εξάλειψη της θόλωσης, του θορύβου, της κίνησης αλλά και της εσφαλμένης εστίασης της κάμερας, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένοι αλγόριθμοι οι οποίοι συμπληρώνουν τη χαμένη πληροφορία. Ο πιο γνωστός είναι αυτός της σύνθεσης υφής Lacuna, όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 4.



Εικόνα 4. Ψηφιακή συμπλήρωση κενών με τον αλγόριθμο σύνθεσης υφής Lacuna

Πηγή: Pei S.C. κ.α., 2004

## 4.2 Χημικές μέθοδοι

Η φασματοσκοπία, όμως, εκτός από τις απεικονιστικές μεθόδους, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και στην ανάλυση της χημικής σύστασης του εκάστοτε αντικειμένου, καθώς τα υλικά αντιδρούν διαφορετικά σε κάθε φάσμα. Έτσι, υπάρχουν συγκεκριμένοι αλγόριθμοι φασματοσκοπίας οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην ανάλυση των χημικών ουσιών των έργων ζωγραφικής, προκειμένου να ολοκληρωθούν επιτυχώς οι διαδικασίες συντήρησης, αποκατάστασης και προστασίας τους. Αυτοί χρησιμοποιούν συγκεκριμένες διατάξεις ενώ οι πιο γνωστοί είναι (Κουή Μ. κ.α., 2015, Χειλάκου Ε., 2011, Kaszowska Z. κ.α., 2013 και Fikri I. κ.α., 2018):

- Η φασματοσκοπία Διάχυτης Ανάκλασης στο υπεριώδες, ορατό και εγγύς υπέρυθρο φάσμα (UV-VIS-NIR) με οπτική ίνα (FODRS)
- Η φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων X (XRF)
- Η ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης με Φασματοφωτόμετρο Ενεργειακής Διασποράς ακτίνων X (ESEM-EDX)
- Η φασματοσκοπία Υπερύθρου Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα Ολική Ανάκλαση (ATR-FTIR)
- Η φασματοσκοπία micro-Raman
- Η μικροσκοπία Οπτικών Ινών (FOM)

Ανάλογα με την επιλογή, κάθε έργο εκτίθεται σε διαφορετική ακτινοβολία, ενώ μετρούνται και καταγράφονται οι εκπεμπόμενες και ανακλώμενες ακτίνες. Με βάση τη γνωστή αντίδραση κάθε υλικού πραγματοποιείται ταυτοποίησή του και έτσι ο συντηρητής είναι σε θέση να γνωρίζει τα ακριβή υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη δημιουργία ή την προγενέστερη συντήρηση του

έργου. Έτσι μπορεί να εξεταστεί η αυθεντικότητα και η ιστορία του, ενώ μπορεί να πραγματοποιηθεί και πρόβλεψη αλλοιώσεων ανάλογα με τις συνθήκες φύλαξης ή έκθεσής του.

### 4.3 Μετρητικές μέθοδοι

Για τη συντήρηση και αποκατάσταση ενός έργου ζωγραφικής, εκτός από τις απεικονιστικές και χημικές μεθόδους, είναι εξίσου αναγκαία και η εξαγωγή πραγματικών μετρητικών δεδομένων σε δύο ή τρεις διαστάσεις, ώστε να υπάρχει καλύτερη αντίληψη των προβλημάτων ή των φθορών που υπάρχουν. (Elkhuizen W.S. κ.α., 2014) Έτσι, για τη μέτρηση και δημιουργία αναπαραστάσεων αξιοποιούνται τόσο φωτογραμμετρικές όσο και γεωδαιτικές μέθοδοι, όπως περιγράφονται παρακάτω.

#### 4.3.1. Φωτογραμμετρικές μέθοδοι

Φωτογραμμετρία ονομάζεται η τέχνη, επιστήμη και τεχνολογία, που μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και προτύπων δίνει τη δυνατότητα απόκτησης αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με τα διάφορα αντικείμενα και το περιβάλλον τους. (Πατιάς, 1991) Στην περίπτωση των έργων ζωγραφικής, αυτή μπορεί να προσφέρει (Barazzetti L. κ.α., 2010):

- ορθοφωτογραφίες υψηλής ανάλυσης, για εντοπισμό προβλημάτων
- τριδιάστατα πυκνά και λεπτομερή μοντέλα επιφάνειας και
- αναλύσεις παραμόρφωσης μεμονωμένων σημείων, όπως τεχνητών στόχων ή χαρακτηριστικών σημείων του έργου

Για την εξαγωγή πληροφοριών σε δύο διαστάσεις αξιοποιείται η μονοεικονική φωτογραμμετρία. Πιο συγκεκριμένα, η ορθοφωτογραφία, δηλαδή η ορθή προβολή του αντικειμένου, αποτελεί μια φωτογραφία, στην οποία έχουν διορθωθεί σφάλματα λόγω αναγλύφου ή φακού. Έτσι είναι δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός οριζοντιογραφικής θέσης σημείων ενδιαφέροντος, ενώ δεν δίνεται καμία υψομετρική πληροφορία. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως στην παρακολούθηση των αλλαγών σε κάθε στάδιο αποκατάστασης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5. (Barazzetti L. κ.α., 2010)



Εικόνα 5. Δημιουργία ορθοφωτογραφιών πριν και μετά την ολοκλήρωση της αποκατάστασης

Πηγή: Abate D., 2019

Στην περίπτωση εξαγωγής τριδιάστατης πληροφορίας, η πιο γνωστή μέθοδος είναι αυτή της φωτογραμμετρίας πολλαπλών εικόνων με συγκλίνουσες φωτογραφίες, που βασίζεται στην αρχή του τριγωνισμού, τη διασταύρωση συγκλινουσών γραμμών, την επιπολική γεωμετρία και τον μαθηματικό προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου του αντικειμένου (Genin S.M., 2019). Ο πιο γνωστός αλγόριθμος είναι ο Structure from Motion (SfM), ενώ για τον προσδιορισμό του τριδιάστατου μοντέλου, ακολουθείται μια πολύ συγκεκριμένη σειρά βημάτων.

Εκτός από τον σωστό προσδιορισμό του εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού, προκύπτει ένα πυκνό νέφος σημείων και τέλος ένα ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας με υφή σε

συγκεκριμένο σύστημα. Ακόμη, πληροφορίες για την τρίτη διάσταση δίνονται με τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρου (DEM), όπου πρόκειται για την αναπαράσταση της πληροφορίας του ύψους, σε μία εικόνα δύο διαστάσεων, με τη χρήση μιας χρωματικής κλίμακας.

Ένα παράδειγμα δίνεται των παραπάνω δίνεται στην εικόνα 6, και αφορά στη μελέτη μιας βυζαντινής φορητής εικόνας.



Εικόνα 6. (α) Διάταξη λήψης, (β) τριδιάστατο μοντέλο με υφή, (γ) τριδιάστατο μοντέλο χωρίς υφή, (δ) DEM

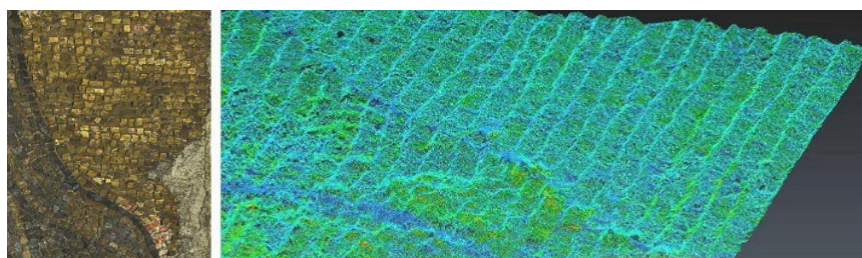
Πηγή: Anghelutză L.M. και Rădvan R., 2019

Τέλος, συγκρίνοντας τα παραπάνω παράγωγα σε δύο ή τρεις διαστάσεις μπορεί να γίνει ανάλυση των παραμορφώσεων ή των αλλοιώσεων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές ή συνθήκες.

#### 4.3.2. Γεωδαιτικές μέθοδοι

Τα τελευταία χρόνια, λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας, πολλές φορές οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι αντικαθίστανται ή συμπληρώνονται με γεωδαιτικές και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση λέιζερ σαρωτών (laser scanners). Και σε αυτή τη περίπτωση προκύπτει ένα νέφος σημείων σε συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς, από το οποίο δημιουργείται το τριδιάστατο μοντέλο.

Η πλειοψηφία των σαρωτών παράγει μοντέλα χωρίς υφή (εικόνα 7), ενώ αν απαιτείται και φωτορεαλιστικό αποτέλεσμα, είναι απαραίτητη η χρήση επιπλέον φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης με γνωστά σημεία λήψης. Τέλος στην αγορά, πλέον κυκλοφορούν και σαρωτές με ενσωματωμένη φωτογραφική κάμερα για ένα πιο πλήρες αποτέλεσμα. (Doria E. κ.α., 2020)



Εικόνα 7. Σάρωση ψηφιδωτού και δημιουργία τριδιάστατου μοντέλου χωρίς υφή

Πηγή: Doria E. κ.α., 2020

## 5. Συμπεράσματα-Προτάσεις

Παρατηρώντας τις απεικονιστικές και μετρητικές μεθόδους μη επεμβατικού ελέγχου, διαπιστώνεται πως κάθε μία από αυτές προσφέρει διαφορετικές πληροφορίες, ενώ παρουσιάζει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα.



Η λήψη μιας απλής φωτογραφίας με ένα φίλτρο είναι ένας εύκολος, γρήγορος και οικονομικός τρόπος εποπτείας διαφορετικών χαρακτηριστικών των έργων ζωγραφικής. Αντίθετα, στην περίπτωση των θερμικών καμερών το κόστος αυξάνεται, ενώ παρέχονται πληροφορίες για το εσωτερικό του κάθε έργου.

Όσον αφορά στην χωρική επεξεργασία, αυτή ανάλογα με τη λήψη και την ταχύτητα των διάφορων αλγορίθμων, προσφέρει πληροφορία σε μεταγενέστερο χρόνο, που όμως είναι απαραίτητη για τη συμπλήρωση των κενών ή τον εντοπισμό των φθορών.

Στην περίπτωση της φωτογραμμετρικής μεθόδου, αν και ο χρόνος λήψης είναι σχετικά περιορισμένος, η επεξεργασία και η εξαγωγή πληροφορίας είναι αρκετά χρονοβόρα και μπορεί να διαρκέσει μέχρι και μερικές μέρες.

Τέλος, σχετικά με τη χρήση των επίγειων σαρωτών, ανάλογα τον εξοπλισμό και το μέγεθος του έργου, ο χρόνος σάρωσης ποικίλει, ενώ, και εδώ, η επεξεργασία είναι ανάλογη της προηγούμενης μεθόδου και διαρκεί αρκετά.

Ο συνδυασμός όλων αυτών, όμως, θα οδηγήσει σε ένα πλήρες και αξιοποιήσιμο αποτέλεσμα τεκμηρίωσης. Ωστόσο, πολλές φορές τα δεδομένα προκύπτουν με διαφορετική ακρίβεια, προκαλώντας έτσι προβλήματα στο συνδυασμό τους. Στον πίνακα 1, παρουσιάζεται η αβεβαιότητα κάθε μεθοδολογίας, όπως αυτή προκύπτει από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε.

Μέθοδος	Επιδιωκόμενη Ακρίβεια
Φασματοσκοπική	Ανάλογη με τη χωρική ανάλυση της φωτογραφίας (μέγεθος pixel)
Χωρική	
Φωτογραμμετρική	Από $\pm 0.01$ έως $\pm 1\text{mm}$
Γεωδαιτική	Από $\pm 0.1\text{mm}$ και μεγαλύτερο

Πίνακας 1: Επιδιωκόμενη ακρίβεια μεθοδολογιών

Πηγή: D'Amelio S. και Brutto M. L., 2009, Barazzetti L. κ.α., 2010 Angheluta L.M. και Rădvan R., 2019, Doria E. κ.α., 2020

Η επιθυμητή ακρίβεια από τους αποκαταστάτες για σωστή μοντελοποίηση της διαδικασίας συντήρησης είναι από  $\pm 0.01$ - $\pm 0.1\text{mm}$ , ενώ σε περιπτώσεις που αυτή είναι μεταξύ  $\pm 1$ - $\pm 10\text{mm}$  πρόκειται για αντικείμενο αρχιτεκτονικής έρευνας. (Barazzetti L. κ.α., 2010)

Επομένως, διαπιστώνεται πως πολλές φορές, η ακρίβεια που προκύπτει δεν επαρκεί. Για τον λόγο αυτό προτείνεται να εξεταστεί η χρήση εξοπλισμού ή διατάξεις αντίστοιχες με αυτές που χρησιμοποιούνται στα βιομηχανικά παράγωγα και οι οποίες προσφέρουν ακρίβεια που μπορεί να φτάσει και το μισό  $\mu\text{m}$  ( $\pm 0.0005\text{mm}$ ). Με μία τόσο λεπτομερή αναπαράσταση μπορούν να εντοπιστούν ακόμα και οι πινελιές που έκανε ο εκάστοτε καλλιτέχνης, ενώ η συστηματική μέτρηση των έργων ζωγραφικής σε όλη τη διάρκεια ζωής τους, με τόση ακρίβεια, μπορεί να προβλέψει και να προσδιορίσει-μετρήσει αλλοιώσεις που μέχρι τώρα δεν γίνονται αντιληπτές.

Έτσι η διασφάλιση της ύπαρξης και της ποιότητας των έργων σε βάθος χρόνου αυξάνεται και η συντήρηση, αποκατάσταση και προστασία είναι πιο ολοκληρωμένη και ακριβής.

## Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση

- Abate, D., 2019. Documentation of paintings restoration through photogrammetry and change detection algorithms. *Heritage Science*, 7(1), pp.1-19.
- AIC, 1994. AIC code of ethics and guidelines for practice. American Institute for Conservation.
- Ali, U.L.V.İ., YİĞİT, A.Y. and Yakar, M., 2019. Modeling of Historical Fountains by Using Close-Range Photogrammetric Techniques. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), pp.1-6.

- Ambrosini, D., Daffara, C., Di Biase, R., Paoletti, D., Pezzati, L., Bellucci, R. and Bettini, F., 2010. Integrated reflectography and thermography for wooden paintings diagnostics. *Journal of Cultural Heritage*, 11(2), pp.196-204.
- Anghelută, L.M. and Rădvan, R., 2019. Macro photogrammetry for the damage assessment of artwork painted surfaces. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- Barazzetti, L., Remondino, F., Scaioni, M., Lo Brutto, M., Rizzi, A. and Brumana, R., 2010. Geometric and radiometric analysis of paintings. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(Part 5).
- Castellini, P., Martarelli, M., Lenci, S., Quagliarini, E., Silani, M. and Martellone, A., 2017. Diagnostic survey on frescoes paintings in Pompei by active IR-thermography. In *IMEKO Int. Conf. on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, MetroArchaeo* (pp. 51-56).
- D'Amelio, S. and Brutto, M.L., 2009. Close range photogrammetry for measurement of paintings surface deformations. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(5/W1), p.6.
- Doria, E. and Picchio, F., 2020. Techniques for mosaics documentation through photogrammetry data acquisition. The byzantine mosaics of the nativity church. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 5(2).
- Elkhuizen, W.S., Zaman, T., Verhofstad, W., Jonker, P.P., Dik, J. and Geraedts, J.M., 2014, February. Topographical scanning and reproduction of near-planar surfaces of paintings. In *Measuring, Modeling, and Reproducing Material Appearance* (Vol. 9018, p. 901809). *International Society for Optics and Photonics*.
- Fikri, I., El Amraoui, M., Haddad, M., Ettahiri, A.S., Bellot-Gurlet, L., Falguères, C., Lebon, M., Nespoulet, R., Lyazidi, S.A. and Bejjit, L., 2018, May. XRF and UV-Vis-NIR analyses of medieval wall paintings of al-Qarawiyyin Mosque (Morocco). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 353, No. 1, p. 012020). *IOP Publishing*.
- Genin, S.M., 2019. Photogrammetry: Methods of survey and applications on restoration works. *Photogrammetry: methods of survey and applications on restoration works*, pp.557-564.
- Georgopoulos, A. and Ioannidis, C., 2004, May. Photogrammetric and surveying methods for the geometric recording of archaeological monuments. In *FIG Working Week* (pp. 22-27).
- Kaszowska, Z., Malek, K., Pańczyk, M. and Mikołajska, A., 2013. A joint application of ATR-FTIR and SEM imaging with high spatial resolution: Identification and distribution of painting materials and their degradation products in paint cross sections. *Vibrational Spectroscopy*, 65, pp.1-11.
- Mol, V.R. and Maheswari, P.U., 2020, July. A Survey on Restoration of Paintings. In *2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)* (pp. 102-108). *IEEE*.
- Pei, S.C., Zeng, Y.C. and Chang, C.H., 2004. Virtual restoration of ancient Chinese paintings using color contrast enhancement and lacuna texture synthesis. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(3), pp.416-429.
- Remondino, F., Rizzi, A., Barazzetti, L., Scaioni, M., Fassi, F., Brumana, R. and Pelagotti, A., 2011. Review of geometric and radiometric analyses of paintings. *The Photogrammetric Record*, 26(136), pp.439-461.
- Shull, P.J., 2002. *Nondestructive evaluation: theory, techniques, and applications*. CRC press.
- Theodorakeas, P.I., 2014. Quantitative analysis and defect assessment using infrared thermographic approaches.
- Young, H.D. and Freedman, R.A., 2015. *University Physics with Modern Physics and Mastering Physics* (p. 1632). Academic Imports Sweden AB.

## Ελληνόγλωσση

- Αλεξοπούλου, Φ., 2018. Η ψηφιακή εικόνα στην τεκμηρίωση των σύγχρονων έργων τέχνης.
- Βλάχος, Δ., 2015. Βασικά στοιχεία ηλεκτρομαγνητισμού.
- Ζερβός, Σ., 2015. Συντήρηση: Βασικές έννοιες, ηθική και δεοντολογία, διαχείριση, αποτίμηση και τεκμηρίωση.
- Κάραλη, Λ., 1998. Λεξικό Αρχαιολογικών Περιβαλλοντικών Όρων. Εκδόσεις Ελληνικά Γράμματα.
- Κουή, Μ., Αβδελίδης, Ν., Θεοδωρακέας, Π. and Χειλάκου, Ε., 2015. Μη καταστρεπτικές και φασματοσκοπικές μέθοδοι εξέτασης των υλικών.
- Μαλλούχου Tufano, Φ., 2016. Προστασία και Διαχείριση Μνημείων.

- Πατιάς, Π., 1991. Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 346.
- Χατζηδάκη, Μ., 2005. Τεκμηρίωση Συντήρησης. Οδηγός Πολιτισμικής Τεκμηρίωσης και Διαλειτουργικότητας. Κέντρο Πολιτισμικής Πληροφορικής. Ινστιτούτο Πληροφορικής ΙΤΕ.
- Χειλάκου, Ε.Α., 2012. Η Εφαρμογή των Φασματοσκοπικών και Μη Καταστρεπτικών Μεθόδων στο χαρακτηρισμό, τον έλεγχο της φθοράς και τη συντήρηση-αποκατάσταση ιστορικών έργων.