

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συντήρηση ενός ενάλιου
σύνθετου αρχαιολογικού ξίφους
από τον εμπορικό λιμένα της Ρόδου

ΠΑΠΟΥΤΣΑΚΗ ΡΑΠΤΗ ΡΟΖΑ

A.M.: 52014055

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Ράπτη Σταυρούλα

Τριμελής επιτροπή: Μακρής Δημήτρης, Μαλέα Κατερίνα, Ράπτη Σταυρούλα



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ
ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ & ΈΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

Τίτλος εργασίας

Συντήρηση ενός ενάλιου σύνθετου αρχαιολογικού ξίφους από τον εμπορικό λιμένα της Ρόδου

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/a	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	ΡΑΪΤΗ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ	Ε.Δ.Ι.Π.	
	ΜΑΚΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
	ΜΑΛΕΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ	ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΠΑΠΟΥΤΣΑΚΗ ΡΑΠΤΗ ΡΟΖΑ του ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ με αριθμό μητρώου 52014055 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Γραφικών Τεχνών και Πολιτισμού, του Τμήματος ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ, 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».

**Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή*

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

Η Δηλούσα

ΠΑΠΟΥΤΣΑΚΗ ΡΑΠΤΗ
ΡΟΖΑ

(Υπογραφή)

** Σε εξαιρετικές περιπτώσεις και μετά από αιτιολόγηση και έγκριση του επιβλέποντα, προβλέπεται χρονικός περιορισμός πρόσβασης (embargo) 6-12 μήνες. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπογράψει ψηφιακά ο/η επιβλέπων/ουσα καθηγητής/τρια, για να γνωστοποιεί ότι είναι ενημερωμένος/η και συναινεί. Οι λόγοι χρονικού αποκλεισμού πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στις πολιτικές του Ι.Α. (σελ. 6):*

https://www.uniwa.gr/wp-content/uploads/2021/01/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CC%81%CF%82_%CE%99%CE%B4%CF%81%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85%CC%81_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BF%CF%85_final.pdf

Ευχαριστίες

Αρχικά επιθυμώ να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Σταυρούλα Ράπη για την ευκαιρία που μου έδωσε να μελετήσω αυτό το τόσο ιδιαίτερο αντικείμενο και για την καθοδήγηση και την στήριξη που μου παρείχε, όπως επίσης τον καθηγητή Δημήτρη Μακρή με τις γνώσεις και την εμπειρία που μοιράστηκε μαζί μου.

Επίσης τις καθηγήτριες και συντηρήτριες, Μαρία Γιαννουλάκη, Μαρία Πέτρου και Κατερίνα Μαλέα για τις πολύτιμες συμβουλές τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που με στήριξαν στις δύσκολες στιγμές μου.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία παρουσίαση ενός σύνθετου ενάλιου αρχαιολογικού ξίφους, του περιβάλλοντος στο οποίο βρέθηκε, καθώς επίσης και τον εντοπισμό και την έκταση των υλικών κατασκευής και των φθορών του δεύτερου τμήματός του (B'), αφού το ξίφος αποτελούνταν από δύο τμήματα (A', B'). Εν συνεχεία, γίνεται ενδελεχής παρουσίαση των σημαντικότερων τεχνολογιών ψηφιακής απεικόνισης καθώς και χαρακτηριστικών μελετών περιπτώσεων εφαρμογών ψηφιακών τεχνολογιών σε τεκμήρια πολιτιστικής κληρονομιάς, αποτελούμενα από μέταλλο, ξύλο, ύφασμα, αλλά και εφαρμογές σε σύνθετα αντικείμενα που αποτελούνται από δύο ή παραπάνω υλικά. Επιπλέον, περιγράφονται οι μέθοδοι, η διαδικασία και ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιακή αποκατάσταση του εξεταζόμενου ξίφους και, τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ψηφιακής απεικόνισης των δύο τμημάτων του ξίφους, όπου στο A' τμήμα ήταν εξαιρετικά επιτυχής, ενώ στο B' τμήμα δεν έγινε δυνατή η ολοκληρωμένη παρουσίασή του λόγω αδυναμίας του λογισμικού σε συνδυασμό με τη υγρή επιφάνεια του αντικείμενου που είχε εκτεταμένες αντανάκλασεις. Έγινε λοιπόν μια προσπάθεια συνένωσης των επιμέρους τμημάτων για την παρουσίαση όλου του ξίφους, όπου το αποτέλεσμα παρόλο που δεν παρουσίαζε το ξίφος ολοκληρωμένο και ενωμένο ως ένα σύνολο, βοήθησε στην οπτικοποίηση της ένωσης της κάθε πλευράς των δύο τμημάτων του.

Λέξεις-κλειδιά: πολιτιστική κληρονομιά, ψηφιακή απεικόνιση, τρισδιάστατο μοντέλο, ψηφιακή αποκατάσταση, φωτογραμμετρία, σύνθετο αντικείμενο

Abstract

This work presents a composite waterlogged archaeological sword, the environment that it was found, as well as the location and the extent of each of the construction materials and the damage of the second part (B'), since the sword consisted of two parts (A' and B'). Moreover, there is a thorough presentation of the most important digital imaging technologies, as well as characteristic case studies of digital technologies applications on cultural heritage objects-monuments, consisting of metal, wood, fabric, but also applications in composite objects consisting of two or more materials. Furthermore, the methodology and the technological equipment used for the digital imaging of the examined sword are described. Finally, the results of the two parts of the sword digital imaging are presented, where of the A' part it was successful, while of the part B' it was not possible to present it completely due to the software and the glossy appearance of the wet object. An attempt was therefore made to join the individual parts in order to present the whole sword. Although, the resulting digital imaging did not present the sword as a whole, it helped to visualize the join of each side of the two parts of the sword.

Keywords: cultural heritage, digital imaging, 3D model, digital preservation, photogrammetry, composite object

Περιεχόμενα

Κατάλογος εικόνων.....	8
1. Εισαγωγή	12
1.1. Βιογραφία αντικειμένου	13
1.1.1. Ιστορικά στοιχεία ξίφους	13
1.1.2. Περιβάλλον εύρεσης	13
1.1.3. Τεχνολογία κατασκευής	14
1.2. Κατάσταση διατήρησης	15
1.3. Μέθοδοι αφύγρανσης μεταλλικών και σύνθετων αντικειμένων και τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την αφύγρανση αυτών.	23
1.4. Σκοπός πτυχιακής εργασίας.....	26
2. Ψηφιακή απεικόνιση.....	27
2.1. Εισαγωγή	27
2.2. Τεχνολογίες ψηφιακής απεικόνισης	29
2.2.1. Ορθοφωτογραφία.....	29
2.2.2. RTI (Reflectance Transformation Imaging) - Απεικόνιση μετασχηματισμού ανάκλασης.....	30
2.2.3. Φωτογραμμετρία.....	31
2.2.4. 3D scanning	32
2.3. Μελέτες περιπτώσεων εφαρμογής ψηφιακών τεχνολογιών σε τεκμήρια πολιτιστικής κληρονομιάς.....	33
2.3.1. Εφαρμογές σε μεταλλικά αντικείμενα	33
2.3.2. Εφαρμογές σε ξύλινα αντικείμενα και μνημεία.....	38
2.3.3. Εφαρμογές σε υφασμάτινα αντικείμενα	42
2.3.4. Εφαρμογές σε σύνθετα αντικείμενα	47

3. Μέθοδοι και υλικά	52
3.1. Επιλογή μεθόδου.....	53
3.1.1. Τύπος φωτογραφικής μηχανής	53
3.1.2. Φωτιστικές πηγές	53
3.1.3. Περιστρεφόμενη τράπεζα (Turntable)	53
3.2. Διαδικασία λήψης φωτογραφιών	54
3.2.1. Προδιαγραφές / Ρυθμίσεις φωτογραφικής μηχανής	56
3.2.2. Θέση φωτογραφικής μηχανής, αντικειμένου, περιστρεφόμενης τράπεζας και φωτιστικών πηγών	56
3.2.3. Σχεδιαστική αναπαράσταση στούντιο	58
3.3. Επεξεργασία φωτογραφιών	59
3.3.1. Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν	59
3.3.2. Πορεία επεξεργασίας φωτογραφιών	59
4. Ψηφιακή τρισδιάστατη αποκατάσταση	63
4.1. Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου	64
4.1.1. Πορεία δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου του Α' τμήματος του ξίφους	64
4.1.2. Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του Β' τμήματος του ξίφους	73
4.2. Ένωση των δύο μερών του ξίφους.....	83
4.2.1. Πορεία ένωσης των δύο τμημάτων του ξίφους	83
5. Συζήτηση	92
6. Συμπεράσματα	94
7. Βιβλιογραφία	95

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1. Η προβλήτα των Αγγέλων στον Εμπορικό Λιμένα Ρόδου (©Κουτσοφλάκης Γ., 2013).....	13
Εικόνα 2. Σχεδιαστική αποτύπωση τμημάτων σπαθιών, ©Παπουτσάκη Ρόζα, Εργαστήριο μεταλλικών Αντικειμένων, ΠΑΔΑ.....	14
Εικόνα 3. Σχεδιαστική αποτύπωση υλικών ξίφους 18 ©Αγγελική Μπέη, ΠΑΔΑ.....	15
Εικόνα 4. Διαχωρισμός ξίφους σε Α' και Β' τμήμα ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	16
Εικόνα 5. Το Α' τμήμα του ξίφους, μετά τις εργασίες συντήρησης ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	16
Εικόνα 6. Αυτοσχέδιο στούντιο φωτογράφισης με τη χρήση slider ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	17
Εικόνα 7. Τοποθέτηση της φωτογραφικής μηχανής πάνω στο slider σε ύψος περίπου 30cm ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	18
Εικόνα 8. Κατάσταση διατήρησης του Β' τμήματος του ξίφους 18 μετά τη μακροσκοπική φωτογράφιση με τη χρήση slider ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	19
Εικόνα 9. Εξέταση του ξίφους με βελόνα ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	20
Εικόνα 10. Χαρτογράφηση υλικών του ξίφους 18 ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	21
Εικόνα 11. Χαρτογράφηση φθορών του ξίφους 18 ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	22
Εικόνα 12. Ειδικά κατασκευασμένο στούντιο χρησιμοποιώντας περιστρεφόμενη τράπεζα, ελεγχόμενο φωτισμό και κάμερα τοποθετημένη σε τρίποδο (Douglass et al, 2017).....	33
Εικόνα 13. Παραδείγματα τρισδιάστατων μοντέλων των αντικειμένων που τεκμηριώθηκαν στα roadshows του 2015 (Douglass et al, 2017).....	34
Εικόνα 14. Τρισδιάστατη τεκμηρίωση μοντέλων του αντικειμένου. α) Πριν τη συντήρηση, β) Σύγκριση μοντέλων πριν και μετά τη συντήρηση, γ) Μοντέλο μετά τη συντήρηση, δ) Μοντέλο μετά τη συντήρηση με κίτρινη ένδειξη “αρχική επιφάνεια”, ε, f) Σύγκριση μοντέλου μετά τη συντήρηση και μοντέλο ανακατασκευασμένου σχήματος (© C2RMF/Jiri Kmosek).....	34
Εικόνα 15. Εικονική ανακατασκευή πρωτότυπου σχήματος της περόνης (© C2RMF/Jiri Kmosek)....	35
Εικόνα 16. Τρισδιάστατα εκτυπωμένα μοντέλα της περόνης πριν, μετά τη συντήρηση και της ανακατασκευής του αρχικού σχήματος (© UCT/ Jiri Kmosek).....	36
Εικόνα 17. Σχεδιαστική αποτύπωση δίσκου ©Θέμελης, 1997.....	36
Εικόνα 18. Λεπτομέρειες του πολύ φθαρμένου θραύσματος φύλλου αργύρου: σύγκριση μικροφωτογραφίας (αριστερά) και απεικόνισης RTI (δεξιά). Η ορατή περιοχή είναι 15 mm.©Kotoula, 2018.....	37
Εικόνα 19. Λεπτομέρεια θραύσματος (πίσω όψη). Το μικροσκοπικό RTI αποκαλύπτει την οριζόντια γραμμική υφή, η οποία μπορεί να υποδηλώνει την επαφή με άλλο υλικό, πιθανώς οργανικό, όπως το ύφασμα.©Kotoula, 2018.....	37
Εικόνα 20. (Εξωτερικές σαρώσεις BLK 360 scans του OWGB, Potangaroa, 2022).....	38
Εικόνα 21. (Εξωτερική σάρωση με drone του OWGB, Potangaroa, 2022).....	39
Εικόνα 22. Τρισδιάστατο βασικό μοντέλο της «Εικόνας του Αγίου Νικολάου των Μύρων»: επισκόπηση (αριστερά) και ορατό πλέγμα (δεξιά), (Kęsik et al, 2023).....	40
Εικόνα 23. Το ναυάγιο Typo to 1899 (© https://www.shipwreckexplorers.com/).....	41
Εικόνα 24. Η τρισδιάστατη απεικόνιση του ναυαγίου που μπορεί να περιηγηθεί ο χρήστης (© https://3dshipwrecks.org/ , 2020).....	42
Εικόνα 25. Μέλος του IDEx που χρησιμοποιεί το Artec Eva για τρισδιάστατη σάρωση των ενδυμάτων. Θεά των Όψεων (αριστερά) και Κροκοσυλλέτρια (δεξιά), (Costello et al 2023).....	42
Εικόνα 26. Λεπτομέρειες του συνόλου της «Κροκοσυλλέτριας» που δείχνει την ορατή δομή της ύφανσης του υφάσματος στο πλέγμα και την υφή, (Costello et al 2023).....	43
Εικόνα 27. Παραλλαγές στην υφή των υφασμάτων της φούστας και του χιτώνα του ψηφιοποιημένου ενδύματος της «Θεάς των Όψεων», (Costello et al 2023).....	43
Εικόνα 28. Συλλογή των οκτώ 3D σαρωμένων ενδυμάτων της συλλογής Sketchfab (αριστερά) και του τελευταίου τρισδιάστατου μοντέλου του συνόλου Mykenaiia (δεξιά), (Costello et al 2023).....	44
Εικόνα 29. Το χαλί πριν τη συντήρηση (McLeod M., 2018).....	45
Εικόνα 30. Λεπτομέρεια του χαλιού σε άκρο του, παρουσιάζοντας το -βαμμένο στο χέρι- υποστήριγμα (McLeod M., 2018).....	45

Εικόνα 31. Διαφορετικές εκδοχές της ψηφιακής εκτύπωσης του μοτίβου σε ύφασμα (McLeod M., 2018)	46
Εικόνα 32. Σύγκριση εκδοχών και χαλιού για την επιλογή του χρώματος (McLeod M., 2018)	46
Εικόνα 33. Τρισδιάστατη σάρωση SLS των στοιχείων της φορεσιάς του Εμίρη: a) ρόμπα, b) τουρμπάν/ salla, c) kaushi/χαμηλό παπούτσι και d) mahsi/ψηλό παπούτσι (Montusiewicz et al, 2021)	47
Εικόνα 34. Βασικό μοντέλο του τουρμπανιού, a) ολοκληρωμένη άποψη και b) λεπτομέρεια του μοντέλου με ορατό το πλέγμα των τριγώνων	48
Εικόνα 35. Μοντέλο διάδοσης της ψηφιακής απεικόνισης που συντίθεται στα λογισμικά Blender και Meshlab a) συνδυασμός όλων των στοιχείων της ρόμπας του Εμίρη και b) στο φυσικό τοπίο της αίθουσας του θρόνου του παλατιού που βρίσκεται στην Κιβωτό της Μπουχάρα.....	49
Εικόνα 36. Η βιβλιοθήκη Piffetti το 1879 (πηγή: O. Roux, La prima Regina d'Italia, Milan 1901)	50
Εικόνα 37. Φωτογραμμετρική απόδοση των θέσεων της φωτογραφικής μηχανής με κάθετες και οριζόντιες γραμμές βάσης και επικάλυψη εικόνας (overlapping) (Russo et al, 2023)	50
Εικόνα 38. Φωτογραμμετρική ορθο-εικόνα με επικαλυπτόμενο μετρικό πλέγμα (Russo et al, 2023)...	51
Εικόνα 39. Κοπή ethafoam περιμετρικά του ξίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	54
Εικόνα 40. Κοπή τριών κύβων για την στερέωση του ξίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	54
Εικόνα 41. Λήψη φωτογραφίας με το Color checker passport ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	55
Εικόνα 42. Δείγματα λήψεων κατά την περιστροφή ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	55
Εικόνα 43. Σχεδιαστική αναπαράσταση λήψεων περιστροφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	56
Εικόνα 44. Στούντιο φωτογράφισης σε αίθουσα του ΠΑΔΑ ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	57
Εικόνα 45. Σχεδιαστική αναπαράσταση στούντιο με τις δύο διαφορετικές γωνίες λήψεων ©Παπουτσάκη Ρόζα	58
Εικόνα 46. Κατηγοριοποίηση λήψεων σε φακέλους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	60
Εικόνα 47. Δημιουργία color profile οριοθετώντας τα σημεία ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	60
Εικόνα 48. Επιλογή αρχείου .dcp ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	61
Εικόνα 49. Ρύθμιση του white balance ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	61
Εικόνα 50. Ομαδική εφαρμογή προφίλ χρώματος ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	62
Εικόνα 51. Μετατροπή εικόνων σε TIFF ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	62
Εικόνα 52. Ευθυγράμμιση των εικόνων (align) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	64
Εικόνα 53. Κατά τη διαδικασία της ανακατασκευής του πλέγματος ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	65
Εικόνα 54. Το μοντέλο μετά τη διαδικασία ανακατασκευής πλέγματος ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	66
Εικόνα 55. Εξάλειψη περιττών τριγώνων πλέγματος με την επιλογή “Filter selection” ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	66
Εικόνα 56. Εξαγωγή μασκών και αποθήκευση στον ίδιο φάκελο με τις αρχικές φωτογραφίες ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	67
Εικόνα 57. Η αρχική φωτογραφία (αριστερά) και η μάσκα της (δεξιά) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ ..	67
Εικόνα 58. Εισαγωγή όλων των σετ φωτογραφιών με τις αντίστοιχες μάσκες του στο λογισμικό ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	68
Εικόνα 59. Το επίπεδο γείωσης πριν τη ρύθμιση ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	68
Εικόνα 60. Το επίπεδο γείωσης μετά την ρύθμιση ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ	69
Εικόνα 61. Ανακατασκευή πλέγματος Α' πλευράς (mesh reconstruction / normal detail) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	70
Εικόνα 62. Ανακατασκευή πλέγματος Β' πλευράς (mesh reconstruction / normal detail) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	70
Εικόνα 63. Οι ρυθμίσεις του unwrap settings ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	70
Εικόνα 64. Τελική τρισδιάστατη απεικόνιση της Α' πλευράς του Α' τμήματος του ξίφους 18 μετά την απόδοση της υψής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	71
Εικόνα 65. Τελική τρισδιάστατη απεικόνιση της Β' πλευράς του Α' τμήματος του ξίφους 18 μετά την απόδοση της υψής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	71
Εικόνα 66. Λεπτομέρειες της Β' πλευράς του Α' τμήματος του ξίφους, μετά την απόδοση της υψής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	72

Εικόνα 67. Λεπτομέρειες της Α' πλευράς του Α' τμήματος του ξίφους, μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	72
Εικόνα 68. Λανθασμένη συγχώνευση ομάδων ευθυγραμμισμένων εικόνων στο λογισμικό RealityCapture ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	74
Εικόνα 69. Λανθασμένη συγχώνευση ομάδων ευθυγραμμισμένων εικόνων στο λογισμικό Meshlab ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	74
Εικόνα 70. Οι τέσσερις ευθυγραμμισμένες ομάδες εικόνων (components) και η δημιουργία των σημείων ελέγχου (control points) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	75
Εικόνα 71. Η Α' πλευρά του Β' τμήματος του ξίφους 18 μετά την ευθυγράμμιση όλων των σετ φωτογραφιών με τις μάσκες τους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	75
Εικόνα 72. Επιλογή ομάδας ευθυγραμμισμένων εικόνων με τις περισσότερες εικόνες Α' πλευράς ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	76
Εικόνα 73. Ρύθμιση του επιπέδου γείωσης (ground plane) και της περιοχής ανακατασκευής (reconstruction region) Α' πλευράς ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	76
Εικόνα 74. Ανακατασκευή πλέγματος Α' πλευράς (mesh reconstruction / normal detail) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	77
Εικόνα 75. Τελική τρισδιάστατη απεικόνιση της Α' πλευράς του Β' τμήματος του ξίφους 18 μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	77
Εικόνα 76. Λεπτομέρειες της Α' πλευράς του Β' τμήματος του ξίφους, μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	78
Εικόνα 77. Η Β' πλευρά του του Β' τμήματος του ξίφους, μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	79
Εικόνα 78. Ανακατασκευή πλέγματος Β' πλευράς (mesh reconstruction / normal detail) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	80
Εικόνα 79. Τελική τρισδιάστατη απεικόνιση της Β' πλευράς του Β' τμήματος του ξίφους 18 μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	80
Εικόνα 80. Λεπτομέρειες της Β' πλευράς του Β' τμήματος του ξίφους, μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	81
Εικόνα 81. Η Α' πλευρά του του Β' τμήματος του ξίφους, μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	82
Εικόνα 82. Εισαγωγή αρχείου .ply του τρισδιάστατου μοντέλου στο λογισμικό Meshlab ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	83
Εικόνα 83. Ρυθμίσεις πραγματικού μήκους με το εργαλείο της μεζούρας ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	84
Εικόνα 84. Βήματα για την εμφάνιση του παραθύρου ρύθμισης μεγεθών ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	84
Εικόνα 85. Παράθυρο ρύθμισης μήκους/μεγέθους του Α' τμήματος του ξίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	85
Εικόνα 86. Εξαγωγή του μοντέλου σε αρχείο .ply στο πραγματικό του μήκος ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	85
Εικόνα 87. Τα μοντέλα των τμημάτων του ξίφους όπως εισήχθησαν στο λογισμικό Meshlab ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	86
Εικόνα 88. Η ορθή τοποθέτηση των μοντέλων σύμφωνα με την αρχική μορφή του ξίφους 18 ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	86
Εικόνα 89. Η εντολή manipulator ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	87
Εικόνα 90. Τελικό αποτέλεσμα της ένωσης της Α' πλευράς των δύο τμημάτων του ξίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	87
Εικόνα 91. Τελικό αποτέλεσμα της ένωσης της Β' πλευράς των δύο τμημάτων του ξίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	87
Εικόνα 92. Όψεις της Α' πλευράς του ξίφους από διαφορετικές γωνίες ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	88
Εικόνα 93. Λεπτομέρειες απόδοσης της υφής στην Β' πλευρά του ξίφους 18 ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	89

Εικόνα 94. Τελικό αποτέλεσμα της ένωσης της Α' πλευράς των δύο τμημάτων του ξίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	90
Εικόνα 95 Τελικό αποτέλεσμα της ένωσης της Β' πλευράς των δύο τμημάτων του ξίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ.....	91

1. Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια ενάλιων ανασκαφικών ερευνών της Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων (ΕΕΑ), που πραγματοποιήθηκαν από το 2007 έως το 2013, στην Προβλήτα Αγγέλων, στον εμπορικό Λιμένα της Ρόδου, στο χώρο του νοτιοανατολικού Αιγαίου, με επικεφαλής αρχαιολόγο τον Γεώργιο Β. Κουτσοφλάκη, ανελκύσθηκαν τρία ξίφη και ένα ξιφίδιο, τα οποία αρχικά μεταφέρθηκαν στις εγκαταστάσεις της Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων. Τα αντικείμενα αυτά, με απόφαση του ΚΑΣ, μεταφέρθηκαν από τις εγκαταστάσεις της Εφορείας Εναλίων αρχαιοτήτων, στο Εργαστήριο Συντήρησης Μεταλλικών αντικειμένων του τμήματος ΣΑΕΤ του ΠΑΔΑ, με σκοπό τη μελέτη και συντήρησή τους. Ένα εξ' αυτών, το ξίφος με νούμερο 18, που πραγματεύεται η παρούσα πτυχιακή, αποτέλεσε αντικείμενο πολλών πτυχιακών εργασιών (Μπέη 2018, Παπανίκου 2019, Μπούρη 2022).

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνώνται οι καταλληλότεροι μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιακής απεικόνισης, με σκοπό την τεκμηρίωση και την ψηφιακή αποκατάσταση του ξίφους. Μέσω των μεθόδων ψηφιακής απεικόνισης, θα δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο των δύο τμημάτων του ξίφους και μετέπειτα η ένωση αυτών. Σκοπός αυτού, είναι να λειτουργήσει ως ένα σημείο αναφοράς της τρέχουσας κατάστασης διατήρησης του αντικειμένου, ώστε να είναι εφικτή η μελλοντική σύγκριση μετά τις επερχόμενες εργασίες συντήρησης (αφύγρανση) και κατ' επέκταση η διατήρηση της ιστορικής του ακεραιότητας ως τεκμήριο.

1.1. Βιογραφία αντικειμένου

1.1.1. Ιστορικά στοιχεία ξίφους

Το ξίφος 18 ανελκύστηκε, σύμφωνα με την Μπέη (2018) στο πλαίσιο της έρευνας που πραγματοποιήθηκε από τις 29/10 έως και τη 1/12/2013, στον εμπορικό Λιμένα της Ρόδου, στο χώρο του νοτιοανατολικού Αιγαίου. Πρόκειται για οπλισμό μεσαιωνικής περιόδου και χρονολογείται τον 13ο αιώνα μ.Χ., συνεπώς ανήκει στην κατηγορία "σπαθί του πολέμου" (Oakeshott, 1997), το οποίο χρησιμοποιούνταν από τον 13ο αιώνα και μετά και πιο συγκεκριμένα, φαίνεται να ανήκε στο Τάγμα των Ιωαννιτών Ιπποτών της Ρόδου. Το μήκος του συνήθως ήταν ένα μέτρο και το βάρος του δεν ξεπερνά το 1,5 κιλό, έτσι μπορούσε κάποιος να το χειριστεί τόσο με το ένα όσο και με τα δύο χέρια (Κουμπάρου, 2019). Τα μεσαιωνικά ξίφη, σύμφωνα με την ίδια, ήταν μεγάλου μεγέθους και αποτελούνταν από δύο βασικά μέρη, τη λεπίδα και τη λαβή.

1.1.2. Περιβάλλον εύρεσης

Σύμφωνα με την Κουμπάρου (2019), το ξίφος 18 εντοπίστηκε συνοδεία άλλων δύο σπαθιών και ενός ξιφιδίου, κατά τη διάρκεια υποβρύχιων ανασκαφικών ερευνών στον εμπορικό Λιμένα της Ρόδου σε βάθος 10-12 μέτρα (εικόνα 1). Ο πυθμένας ήταν αμμώδης και τα ξίφη καλύπτονταν από προϊόντα διάβρωσης του σιδήρου και παχύ στρώμα συμπηγμάτων και βρίσκονταν ελεύθερα στην επιφάνειά του. Είναι πολύ πιθανό να υπήρχε συχνή μετακίνησή τους, λόγω των διερχόμενων πλοίων (Μπέη, 2018).

*Εικόνα 1 Η προβλήτα των Αγγέλων στον Εμπορικό Λιμένα Ρόδου
(©Κουτσουφλάκης Γ., 2013)*

Δεν είναι γνωστό πως κατέληξαν στη συγκεκριμένη θέση, αφού δεν έχουν συσχετιστεί με κάποιο ναυάγιο ή κάποιο άλλο γεγονός που να συνέβη στην περιοχή κατά την αρχαιότητα. Σύμφωνα με τον υπεύθυνο αρχαιολόγο της ανασκαφής Γεώργιο Β. Κουτσουφλάκη, (2013) “ο εμπορικός λιμένας της Ρόδου αποτελεί μία λιμενική εγκατάσταση αδιάλειπτης λειτουργίας για τουλάχιστον εικοσιπέντε αιώνες που έχει ως συνέπεια το υποβρύχιο αυτό τοπίο να υφίσταται επί καθημερινής βάσης συνεχείς και μαζικές μετακινήσεις και αναμοχλεύσεις αποθέσεων άμμου από τις περιδινήσεις των πλοίων και τη ρίψη αγκυρών”.

1.1.3. Τεχνολογία κατασκευής

Εικόνα 2 Σχεδιαστική αποτύπωση τμημάτων σπαθιών, ©Παπουτσάκη Ρόζα, Εργαστήριο μεταλλικών Αντικειμένων, ΠΑΔΑ

Πρόκειται για ένα σύνθετο αντικείμενο το οποίο αποτελείται στο μεγαλύτερο μέρος του από σίδηρο αλλά και οργανικής σύστασης υλικά. Στην πτυχιακή της εργασία η Μπούρη (2022) αναφέρει ότι τα δύο κυρία μέρη, από τα οποία αποτελείται το ξίφος, είναι η λάμα και η λαβή. Η λάμα, ο κορμός του σπαθιού, είναι κατασκευασμένος από σίδηρο. Η λαβή έχει κατασκευαστεί από ξύλο. Στο τέλος της λαβής τοποθετούνταν το μήλο, το οποίο εξασφαλίζει την απαιτούμενη ισορροπία στο βάρος του σπαθιού, αφού λειτουργεί σαν αντίβαρο της λάμας και συνεισέφερε στον πιο εύκολο χειρισμό του αντικειμένου. Στην ένωση της λαβής και της λάμας βρίσκεται ο φυλακτήρας, με στόχο το χέρι να μην γλιστράει από τη λαβή προς την επιφάνεια της λάμας. Κάτω από το φυλακτήρα υπάρχει σιδερένιος κρίκος πρόσδεσης ως ένθετο εξάρτημα. Η θήκη είναι κατασκευασμένη από ξύλο και έχει επενδυθεί με δέρμα, το οποίο συγκρατείται από έλασμα κασσίτερου.

1.2. Κατάσταση διατήρησης

Μετά την ανέλκυση του ξίφους 18 πραγματοποιήθηκε αφαίρεση των συμπληγμάτων με πνευματικό μηχάνημα με ακίδα και μικροτροχό με μεταλλικές βούρτσες / Dremmel, αφού πρώτα έγινε ακτινογράφιση και αξονική τομογραφία. Σε αυτό το στάδιο έγινε σχεδιαστική αποτύπωση των υλικών κατασκευής του ξίφους 18, στο οποίο παρατηρήθηκε ότι όλη η λαβή είναι κατασκευασμένη από σίδηρο και κάτω από τους φυλακτήρες υπάρχει σιδερένιος δακτυλιόσχημος κρίκος. Οργανικής σύστασης υλικά συνιστούσαν τη θήκη, (ξύλο), σε ορισμένα σημεία της οποίας παρατηρήθηκαν σημεία αποτελούμενα από ορυκτοποιημένο δέρμα. Από δέρμα αποτελείται επίσης και το καμπυλώδες τμήμα μεταξύ των φυλακτών. Έλασμα ψευδαργύρου κάτω από τους φυλακτήρες, πάχους περίπου 1,5 εκατοστού, διατρέχει την θήκη και συγκρατούσε το δέρμα (εικόνα 3) (Μπέη 2018).

Εικόνα 3 Σχεδιαστική αποτύπωση υλικών ξίφους 18 ©Αγγελική Μπέη, ΠΑΔΑ

Εικόνα 4 Διαχωρισμός ξίφους σε Α' και Β' τμήμα ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Το ξίφος 18 απαρτίζεται από δύο τμήματα Α' και Β' (εικόνα 4). Στο τμήμα Α' έχει ολοκληρωθεί η αφύγρανση και συντήρησή του και η κατάσταση διατήρησης χαρακτηρίζεται ως καλή, (μετά τις εργασίες συντήρησης) (εικόνα 5). Η ξύλινη θήκη του είχε ορυκτοποιηθεί πλήρως, με αποτέλεσμα να έχουν χαθεί οι ιδιότητες του ξύλου. Σε όλη την επιφάνεια της, η θήκη, ήταν καλυμμένη με προϊόντα διάβρωσης του μετάλλου, καθώς και με συμπήγματα από το ενάλιο περιβάλλον ταφής του. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τα χάλκινα μεταλλικά στοιχεία της διακόσμησής της να είναι δυσδιάκριτα. Το τμήμα Β' το οποίο βρίσκεται κατά τη διαδικασία συντήρησης, και η κατάσταση διατήρησης χαρακτηρίζεται ως κακή. Το ξίφος βρίσκεται σε λουτρό αναστολέα διάβρωσης μαζί με τη μάσκα υδροφοβίωσης, καθώς η περιοχή κάτω από τον φυλακτήρα είναι εξαιρετικά ασταθής. Έχει διασπαστεί σε επιμέρους τμήματα και θραύσματα, τα οποία πρέπει να συγκολληθούν.

Εικόνα 5 Το Α' τμήμα του ξίφους, μετά τις εργασίες συντήρησης ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Για την διευκόλυνση της χαρτογράφησης των φθορών και των υλικών κατασκευής του ξίφους, πραγματοποιήθηκε μακροσκοπική φωτογράφιση με τη χρήση slider. Σε αίθουσα του ΠΑΔΑ, δημιουργήθηκε αυτοσχέδιο στούντιο φωτογράφισης, τοποθετώντας το ξίφος σε βάση, πάνω σε έδρανο σε λευκό φόντο, με φωτιστικές πηγές εκατέρωθεν (energy saver spiral 150W 220-240V 5400K COOL DAYLIGHT) και το slider με την φωτογραφική μηχανή άνωθεν του αντικειμένου, σε ύψος περίπου 30cm (εικόνα 6, 7). Η διαδικασία λήψης των φωτογραφιών περιελάμβανε τη λήψη μιας φωτογραφίας κάθε 10cm με 30% επικάλυψη της προηγούμενης της. Συνολικά τέσσερα σετ φωτογραφιών, ένα για κάθε πλευρά και ακμή του ξίφους. Καθ' όλη τη διάρκεια της φωτογράφισης, το ξίφος ψεκάζονταν με απιονισμένο νερό για την αποφυγή της μη ελεγχόμενης αφύγρανσής του και κατ' επέκταση την περαιτέρω φθορά του. Η επεξεργασία και η ένωση των φωτογραφιών έγινε στο λογισμικό Photoshop της εταιρίας Adobe, όπου τελικό αποτέλεσμα ήταν μια ακριβής, ρεαλιστική και λεπτομερής αποτύπωση του ξίφους (εικόνα 8).

Εικόνα 6 Αυτοσχέδιο στούντιο φωτογράφισης με τη χρήση slider ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 7 Τοποθέτηση της φωτογραφικής μηχανής πάνω στο slider σε ύψος περίπου 30cm
©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 8 Κατάσταση διατήρησης του Β' τμήματος του ζύφους 18 μετά τη μακροσκοπική φωτογράφιση με τη χρήση slider ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Η κατάσταση διατήρησης του ξίφους σε σχέση με τις μελέτες των προηγούμενων πτυχιακών παραμένει η ίδια. Όμως, αναφορικά με τον εντοπισμό των υλικών κατασκευής του ξίφους παρατηρήθηκαν μερικές αποκλίσεις.

Στην παρούσα πτυχιακή, σε όλη την επιφάνεια του Β' τμήματος πραγματοποιήθηκε εξέταση με βελόνα (εικόνα 9) για τον εντοπισμό και τον προσδιορισμό της έκτασης των υλικών (εικόνα 10) και των φθορών του (εικόνα 11).

Η περιοχή κάτω από τον φυλακτήρα έδειξε ότι πρόκειται για υδατοκορεσμένο οργανικό υλικό (ξύλο ή δέρμα) που κατά την αφύγρανση είναι πολύ πιθανό να υποστεί διαστασιακές μεταβολές και να

Εικόνα 9 Εξέταση του ξίφους με βελόνα
©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

γίνει αποκόλληση τμημάτων της θήκης, τα οποία βρίσκονται πάνω σε αυτή την επιφάνεια. Η θήκη αποτελείται κυρίως από ορυκτοποιημένο ξύλο με σημειακή διατήρηση υδατοκορεσμένων τμημάτων, όπως επίσης στην επιφάνειά της παρουσιάζονται μικρά τμήματα δέρματος. Από ορυκτοποιημένο δέρμα αποτελείται επίσης και το καμπυλώδες τμήμα μεταξύ των φυλακτών. Κάτω από τους φυλακτήρες παρατηρείται αποσπασμένο έλασμα κασσίτερου συγκρατούσε το δέρμα. Η λαβή αποτελείται από ορυκτοποιημένο ξύλο με σχετικά μεγάλα τμήματα υδατοκορεσμένου ξύλου. Στο σημείο συνένωσης των δύο τμημάτων, η θήκη έχει υποστεί διάνοιξη και διακρίνεται η λάμα στο εσωτερικό της. Είναι λοιπόν πολύ πιθανό κατά την αφύγρανση να υποστεί περαιτέρω διάνοιξη και να διαχωριστεί σε δύο μέρη. Σε όλη την επιφάνεια του ξίφους υπάρχουν προϊόντα διάβρωσης του σιδήρου. Λόγω των παραπάνω η στερέωση και ύστερα η αφύγρανση του Β' τμήματος, θα πρέπει να σχεδιαστεί προσεχτικά για την αποφυγή του κατακερματισμού των ασταθών υλικών του.

Χαρτογράφηση υλικών

Εικόνα 10 Χαρτογράφηση υλικών του ξίφους 18 ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Χαρτογράφηση φθορών

Εικόνα 11 Χαρτογράφηση φθορών του ζιφους 18 ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

1.3 Μέθοδοι αφύγρανσης μεταλλικών και σύνθετων αντικειμένων και τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την αφύγρανση αυτών.

Σύμφωνα με την Παπανίκου (2019), η έννοια του σύνθετου τέχνηργου χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα υπό μελέτη αντικείμενα, προχωρώντας στην παράθεση ενός ορισμού από τον Mardikian (1997), σύμφωνα με τον οποίο ως σύνθετα τέχνηρα ορίζονται αυτά που συναρμολογούνται "εκούσια ή μη, με δύο ή περισσότερα υλικά, παρεμφερούς ή διακριτής φύσεως, τα οποία κατά την παραμονή σε υδατικό διάλυμα έχουν δεχθεί φυσικοχημικές αλλοιώσεις".

Κατά τον ίδιο, τα σύνθετα τέχνηρα διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες. Στην πρώτη διακρίνονται τα αντικείμενα των οποίων τα διαφορετικά τμήματα έχουν συναρμολογηθεί εξ αρχής με σκοπό την αντιστρεψιμότητα, δηλαδή αντικείμενα συναρμολογημένα με μέρη που, αφαιρώντας τα, το αντικείμενο μπορεί να αποσυναρμολογηθεί και να συντηρηθούν ξεχωριστά τα διαφορετικά υλικά. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα αντικείμενα των οποίων τα διαφορετικά τμήματα έχουν συναρμολογηθεί από την αρχή με σκοπό την αντιστρεψιμότητα και οι συνθήκες ενταφιασμού δεν επιτρέπουν την αποσυναρμολόγηση του αντικειμένου χωρίς να φθαρεί ένα ή περισσότερα υλικά. Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τα αντικείμενα των οποίων τα διαφορετικά μέρη συναρμολογήθηκαν με σκοπό την αποφυγή αντιστρεψιμότητας. Σε αυτά η αποσυναρμολόγηση των τμημάτων έχει συνέπεια την καταστροφή κάποιου υλικού ή την τροποποίηση των προοριζόμενων μεθόδων συναρμολόγησης. Στην τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνονται τα συσσωματώματα, δηλαδή αντικείμενα και υλικά τα οποία ενώθηκαν τυχαία μεταξύ τους κατά τη διάρκεια του ενταφιασμού, ενώ στην πέμπτη και τελευταία κατηγορία διακρίνονται τα αντικείμενα τα οποία παρουσιάζουν χαρακτηριστικά περισσότερων κατηγοριών. Σε αυτήν περιλαμβάνονται πιο περίπλοκα σύνολα όπως μικρότερα αντικείμενα σε κοντινή απόσταση που συσσωματώνονται, σχηματίζοντας ένα σύμπλεγμα, όπως συμβαίνει στα ναυάγια, αλλά και τέχνηρα τα οποία αρχικά ήταν σύνθετα, κατασκευασμένα από συναρμολογημένα και διαφορετικά υλικά, όπως αντικείμενα από διαφορετικά μέταλλα οι επιφάνειες των οποίων εφάπτονται.

Ως αφύγρανση ή ξήρανση, γενικά, ορίζεται η εξάτμιση και απομάκρυνση νερού ή άλλων υγρών από ένα διάλυμα, εναιώρημα ή άλλο μίγμα στερεού-υγρού, προκειμένου να σχηματιστεί ένα ξηρό στερεό υλικό, μία πολύπλοκη διαδικασία που περιλαμβάνει τη μεταφορά θερμότητας και μάζας, συνοδευόμενη από φυσικοχημικούς μετασχηματισμούς. Η αφύγρανση/ξήρανση διαχωρίζεται στις κατηγορίες της άμεσης ξήρανσης (convection), της έμμεσης ή ξήρανσης με επαφή (conduction), της ξήρανσης με ακτινοβολία (radiation) και της διηλεκτρικής ή μικροκυματικής ξήρανσης (radio frequency drying). Η μεταφορά θερμότητας και μάζας είναι κρίσιμα σημεία στην εν λόγω διαδικασία, όπου η θερμότητα μεταφέρεται στο προϊόν για να εξατμιστεί το υγρό και η μάζα μεταφέρεται ως ατμός στο περιβάλλον. Ο ρυθμός ξήρανσης καθορίζεται από το σύνολο των παραγόντων που επηρεάζουν τη μεταφορά θερμότητας και μάζας. Η ξήρανση στερεών υλικών ακολουθεί δύο ζώνες ξήρανσης, την περίοδο σταθερού ρυθμού (constant-rate period) και την περίοδο φθίνοντος ρυθμού (falling-rate period). Οι δύο ζώνες οριοθετούνται από ένα σημείο διακοπής (break point) που ονομάζεται κρίσιμη περιεκτικότητα σε υγρασία (critical moisture content). Το τέλος της διαδικασίας ξήρανσης ολοκληρώνεται όταν η θερμοκρασία του προϊόντος αρχίσει να αυξάνεται, υποδεικνύοντας την ολοκλήρωση της ξήρανσης σε μία συγκεκριμένη επιθυμητή περιεκτικότητα υγρασίας, η οποία μετρείται με τη χρήση μετρητών ηλεκτρικής αντίστασης και διηλεκτρικών μετρητών υγρασίας (Parikh, 2014).

Παρακάτω αναφέρονται οι βασικές μέθοδοι αφύγρανσης/ξήρανσης μεταλλικών και σύνθετων αντικειμένων (Hennum-Simmonds KS, 2020), (Pearson, 1987):

Ελεγχόμενη ξήρανση στον αέρα (Air Drying):

Είναι η πιο κοινή μέθοδος ξήρανσης μεταλλικών και οργανικών αντικειμένων με σχετικά καλή κατάσταση διατήρησης. Το αντικείμενο, αφού αφαιρεθούν επιφανειακοί ρύποι και άλατα, αφήνεται σε περιβάλλον με προσεκτικά ελεγχόμενη σχετική υγρασία και θερμοκρασία, επιτρέποντας έτσι την φυσική εξάτμιση του νερού. Συχνά χρησιμοποιείται για οργανικά υλικά που μπορεί να καταστραφούν από την γρήγορη εξάτμιση του νερού. Η διαδικασία είναι αργή και μπορεί να χρειαστούν αρκετές εβδομάδες ή και μήνες για να ολοκληρωθεί.

Ξήρανση με αποξηραντικά υλικά (Desiccant Drying):

Το αντικείμενο σφραγίζεται σε θήκη ή θάλαμο μαζί με το αποξηραντικό υλικό, συνήθως silica gel, σε υπολογισμένες ποσότητες. Με το πέρας του χρόνου, το αποξηραντικό υλικό απορροφάει την υγρασία από το αντικείμενο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για μικρού έως μεσαίου μεγέθους μεταλλικά αντικείμενα.

Ξήρανση/λυοφιλίωση υπό κενό (Vacuum Freeze Drying):

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για εμποτισμένα ή υδατοκορεσμένα αντικείμενα οργανικής σύστασης. Το αντικείμενο αρχικά καταψύχεται και στη συνέχεια εισέρχεται στον θάλαμο λυοφιλίωσης υπό κενό. Τοποθετείται σε υψηλό κενό, σε θερμοκρασίες υπό το μηδέν, ενώ εφαρμόζονται κύκλοι ελεγχόμενης θερμότητας, έτσι προκαλείται η εξάχνωση του παγωμένου υγρού σε ατμό χωρίς να περάσει από το στάδιο της υγρής κατάστασης. Αυτή η μέθοδος βοηθά στην, ως επί το πλείστον, διατήρηση της δομής και του σχήματος ευαίσθητων ή και σύνθετων αντικειμένων.

Χημική ξήρανση (Chemical Drying):

Ορισμένα υλικά, όπως τα μέταλλα, ενδέχεται να απαιτούν ειδικές χημικές επεξεργασίες για την απομάκρυνση του νερού και την περαιτέρω διάβρωση του αντικειμένου. Η χρήση χημικών ουσιών, όπως αλκοόλες, ακετόνη και άλλοι διαλύτες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση του νερού και την απορρόφηση της υγρασίας, επιταχύνοντας τη διαδικασία της ξήρανσης. Οι χημικοί ξηραντικοί παράγοντες μπορεί να είναι χρήσιμοι σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους ξήρανσης, ανάλογα με την κατάσταση διατήρησης του αντικειμένου. Η μέθοδος αυτή βρίσκει εφαρμογή και σε οργανικά υλικά.

Η διαδικασία ξήρανσης των σύνθετων αντικειμένων μπορεί να παρουσιάσει ιδιαίτερες προκλήσεις λόγω των διαφορετικών υλικών τους. Τα σύνθετα αντικείμενα αποτελούνται συνήθως από διαφορετικά υλικά, όπως ξύλο, μέταλλο, οστά, ύφασμα αλλά και οργανικά υλικά, καθένα από τα οποία έχει τις δικές του ειδικές απαιτήσεις ξήρανσης και κατά την οποία μπορεί να παρουσιαστούν προβλήματα. Ο Pearson (1987) υπογραμμίζει εμφατικά την πολυπλοκότητα που συνεπάγεται η συντήρησή τους. Συγκεκριμένα, τονίζει τον καθοριστικό ρόλο που έχει για τη διάβρωση του σιδήρου, η αναλογία σιδήρου/ξύλου. Σε περίπτωση που κυριαρχεί το ξύλο, το σίδηρο είναι επιρρεπές σε πλήρη διάβρωση, αφήνοντας πίσω μόνο ίχνη μαγνητίτη. Κατά συνέπεια, το ξύλο εμποτίζει με σημαντικά ποσοστά προϊόντων διάβρωσης σιδήρου, το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην πλήρη ορυκτοποίησή του. Αντίστοιχα εμποτίζονται με προϊόντα διάβρωσης σιδήρου το δέρμα και το ύφασμα.

Υλικά με διαφορετικό πορώδες και ικανότητα απορρόφησης νερού, μπορούν να διαφέρουν στον ρυθμό ξήρανσης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε παραμόρφωση, ρωγμές ή και αποκόλληση λόγω της πίεσης που ασκούν τα υλικά που συνδέονται μεταξύ τους. Επιπλέον

ορισμένα υλικά, όπως το ξύλο ή το ύφασμα, μπορεί να συρρικνωθούν ή παραμορφωθούν, αλλάζοντας έτσι το αρχικό τους σχήμα, την υφή ή/και τη δομική ακεραιότητα του αντικειμένου. Η απώλεια μηχανικής αντοχής, ευκαμψίας και ευθραυστότητα μπορεί να παρουσιαστούν κατά την ξήρανση σύνθετων αντικειμένων όπου υπάρχουν μεταλλικά και οργανικά τμήματα που το απαρτίζουν.

Το ξύλο και το ύφασμα είναι ευαίσθητα σε μικροβιακή ανάπτυξη, καθώς τα υψηλά επίπεδα υγρασίας μπορούν να δημιουργήσουν ένα ευνοϊκό περιβάλλον ανάπτυξης βακτηρίων και μυκήτων. Για παράδειγμα, αν το αντικείμενο τοποθετηθεί σε αλκαλικό διάλυμα για το σίδηρο ή αντίστοιχα σε νερό με μυκητοκτόνο για το ξύλο, το άλλο υλικό θα αρχίσει να διαβρώνεται. Ο διαχωρισμός του στα επιμέρους τμήματά του πραγματοποιείται σπάνια, διότι βάζει σε κίνδυνο την ακεραιότητα του αντικειμένου, λόγω του βαθμού διάβρωσης και της επαφής των διαφορετικών υλικών μεταξύ τους.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διαδικασία ξήρανσης μπορεί να αλλάξει την εμφάνιση, το χρώμα ή το φινίρισμα της επιφάνειας των υλικών από τα οποία αποτελείται ένα αντικείμενο, επηρεάζοντας με αυτό τον τρόπο την αισθητική και ιστορική του αξία.

1.4. Σκοπός πτυχιακής εργασίας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αφύγρανση σύνθετων ενάλιων αντικειμένων πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστή και ιδιαίτερη σε χειρισμό διαδικασία συντήρησης. Οι δυσκολίες που οφείλει να αντιμετωπίσει ο εκάστοτε συντηρητής αλλάζουν και διαμορφώνονται τόσο από τις συνθήκες εύρεσης του αντικειμένου και την κατάσταση διατήρησής του, όσο και από τις προηγούμενες προσπάθειες συντήρησής του.

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι η ψηφιακή τεκμηρίωση και αποκατάσταση του αντικειμένου, που απαρτίζεται από ένα συντηρημένο στεγνό τμήμα Α' και ένα υγρό, μη συντηρημένο τμήμα Β', προκειμένου να διατηρηθούν οι πληροφορίες, το σχήμα, οι υφές, οι φθορές και τα υλικά κατασκευής του, μέσω ψηφιακών τεχνολογιών, όπως η δημιουργία ενός ακριβούς τρισδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου. Εξίσου σημαντική, με τον σκοπό της τεκμηρίωσης και της αποκατάστασης, είναι η πορεία προς την επίτευξη του στόχου, μέσω της διερεύνησης των καταλληλότερων τρόπων τρισδιάστατης ψηφιακής απεικόνισης ενάλιων αντικειμένων, αλλά και των πιο σύγχρονων εργαλείων που προσφέρουν οι τεχνολογικές εξελίξεις στις μέρες μας.

Η παρούσα έρευνα αποσκοπεί να λειτουργήσει ως ένα σημείο αναφοράς και περαιτέρω διερεύνησης για επερχόμενες εργασίες συντήρησης και κατ' επέκταση για τη διατήρηση της ιστορικής του ακεραιότητας ως τεκμήριο.

2. Ψηφιακή απεικόνιση

2.1. Εισαγωγή

Η ψηφιακή απεικόνιση και ψηφιοποίηση αγαθών πολιτιστικής κληρονομιάς έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι συμβάλλει στη διάσωση πληροφοριών των αντικειμένων για τις μελλοντικές γενιές. Δεν μπορεί να θεωρηθεί μέθοδος για την άμεση συντήρηση και διατήρηση του αντικειμένου, αλλά επιτρέπει τη μείωση του κινδύνου φθοράς του σε σχέση με το χειρισμό του κατά τη διάρκεια της μελέτης του. Η μέθοδος αυτή είναι σημαντική για εξαιρετικά εύθραυστα και ευαίσθητα αντικείμενα, μοναδικά ή υψηλής καλλιτεχνικής ή αρχαιολογικής αξίας. Η αξία των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως αισθητικούς, πνευματικούς, κοινωνικούς, ιστορικούς, συμβολικούς καθώς και τον παράγοντα της αυθεντικότητας. Συνήθως, η επιλογή των αντικειμένων προς ψηφιοποίηση βασίζεται σε τεχνικά κριτήρια (κατάσταση διατήρησης), κριτήρια περιεχομένου (μοναδικότητα, σημασία και αντιπροσωπευτικότητα) και κριτήρια χρήσης (απαιτήσεις των υλικών) (Corona, 2023).

Η δημιουργία ψηφιακής απεικόνισης και αποκατάστασης αγαθών πολιτιστικής κληρονομιάς καθιστά δυνατή την ψηφιακή προστασία σε περίπτωση ζημιάς, φθοράς, καταστροφών, ακόμη και αν αγαθά πολιτιστικής κληρονομιάς καταστραφούν, οι ψηφιακές εκδόσεις τους θα επιβιώσουν προς όφελος των μελλοντικών γενεών.

Με την ψηφιακή απεικόνιση είναι δυνατή:

α) Η σε βάθος ανάλυση και διερεύνηση. Με την τρισδιάστατη σάρωση είναι δυνατή η λήψη λεπτομερών και πολλαπλών προοπτικών όψεων αντικειμένων και η εμβάθυνση της ανάλυσής τους. Για παράδειγμα, είναι ευκολότερο να αναζητηθούν κρυφές υπογραφές, αποκαταστάσεις που έχουν ήδη πραγματοποιηθεί, ίχνη φθοράς κ.λπ..

β) Η εικονική αποκατάσταση. Έχοντας διαθέσιμα τρισδιάστατα ψηφιακά αντίγραφα ενός πρωτοτύπου, μπορούν να δοκιμαστούν ή/και να αποδοθούν εικονικά οι πιθανές στρατηγικές αποκατάστασης πολύ πριν εφαρμοστούν στο αντικείμενο πολιτιστικής κληρονομιάς. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο κίνδυνος περαιτέρω φθοράς και η ακεραιότητα του έργου μπορεί να διατηρηθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

γ) Η πρόσβαση για λόγους σπουδών ή εκπαίδευσης. Μόλις αποκτηθεί ένα πιστό ψηφιακό αντίγραφο του αντικειμένου, η διάθεση του σε ερευνητές, φοιτητές και κοινό επιτρέπει τη λεπτομερή εξερεύνηση, με προφανή οφέλη για την επιστημονική έρευνα και την εκπαίδευση και την πολιτιστική διάδοση.

δ) Η προστασία από τη φθορά που προκαλείται από το χειρισμό. Η μελέτη ενός αντικειμένου χωρίς να διακυβεύεται η ακεραιότητά του είναι μία από τις επιθυμίες των φορέων ή/και των υπευθύνων για την προστασία του. Ο επαναλαμβανόμενος χειρισμός αντικειμένων - ακόμη περισσότερο όταν αποδεικνύεται η ευθραυστότητά τους- μπορεί στην πραγματικότητα να προκαλέσει φθορά σε αυτά ή/και να αυξήσει τη φθορά τους με την πάροδο του χρόνου. Χάρη στην ψηφιοποίηση, η φυσική επαφή για σκοπούς μελέτης και κοινής χρήσης μπορεί να μειωθεί, καθώς τα πρωτότυπα αντικείμενα δεν χρειάζεται να εμφανίζονται ή να μετακινούνται συνεχώς για τους ερευνητές ή το κοινό.

ε) Η κοινή χρήση χωρίς σύνορα. Με την ψηφιοποίηση και την κατάλληλη χρήση πλατφορμών cloud τα ψηφιοποιημένα αντικείμενα μπορούν να διατεθούν σε ευρύ κοινό. Με

αυτόν τον τρόπο όχι μόνο επιτρέπεται η ευρύτερη διάδοση της γνώσης αλλά και ενισχύονται οι συνεργασίες μεταξύ μελετητών.

Τα εργαλεία ψηφιακής απεικόνισης που χρησιμοποιούνται και θα παρουσιαστούν παρακάτω είναι:

- Η Ορθοφωτογραφία (Orthophotography), η οποία παρέχει πληθώρα πλεονεκτημάτων, όπως η ευελιξία και ο συνδυασμός δεδομένων που έχουν συλλεχθεί (Baltsavias, 1995),
- η Απεικόνιση Μετασχηματισμού Ανάκλασης-RTI (Reflectance Transformation Imaging) και Highlight-RTI (H-RTI), οι οποίες συμβάλλουν στη συλλογή και ανάλυση των ιδιοτήτων της επιφάνειας του αντικειμένου,
- η Φωτογραμμετρία (Photogrammetry), η οποία δύναται να μας παρέχει στοιχεία όπως μετρήσεις ή το τρισδιάστατο μοντέλο ενός αντικειμένου,
- η τρισδιάστατη σάρωση (3D Scanning), που χρησιμοποιείται για την ακριβή αποτύπωση του τρισδιάστατου σχήματος ενός φυσικού αντικειμένου.

2.2. Τεχνολογίες ψηφιακής απεικόνισης

2.2.1. Ορθοφωτογραφία

Η τεχνική της Ψηφιακής Ορθοφωτογραφίας έχει τις ρίζες της στις αρχές της δεκαετίας του 1960, ενώ αναπτύχθηκε περισσότερο κατά τις επόμενες δεκαετίες, όταν οι τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας χρησιμοποιήθηκαν για την ορθοδιόρθωση ψηφιακών ή ψηφιοποιημένων εικόνων. Η ανάπτυξη της οφείλεται επίσης στις αλγοριθμικές εξελίξεις κατά τη δεκαετία του 1970 και απογειώθηκε κατά τις δεκαετίες του 1980 και του 1990, με την εμφάνιση των Digital Photogrammetric Systems (DPS) και Geographical Information Systems (GIS), τα οποία συνδυάζαν δεδομένα που είχαν αποκτηθεί μέσω της σάρωσης των αυθεντικών αρχαιολογικών χώρων (Baltsavias, 1996).

Αποτελεί ένα συνδυασμό των χαρακτηριστικών της εικόνας μιας αεροφωτογραφίας με τις γεωμετρικές ιδιότητες ενός χάρτη. Καταρχάς γίνεται σάρωση (rasterize) της αεροφωτογραφίας και έπειτα ακολουθεί η διόρθωση (rectification) τυχουσών παραμορφώσεων που δημιουργούνται κατά τη σάρωση της αεροφωτογραφίας. Οι παραμορφώσεις αυτές ενδέχεται να οφείλονται, στο φακό της κάμερας, στη θέση του αεροσκάφους, στο υψόμετρο από το οποίο λαμβάνεται η αεροφωτογραφία, αλλά και σε ποικίλα άλλα τοπογραφικά χαρακτηριστικά. Μέσω αυτής της διαδικασίας οι αεροφωτογραφίες μετατρέπονται σε υψηλής ανάλυσης ψηφιακές εικόνες με την αναπαράσταση της γεωμετρίας μιας περιοχής (Lear, 1997).

Η διάρθρωση της διαδικασίας της Ψηφιακής Ορθοφωτογραφίας συνοψίζεται στα σημεία ελέγχου του εδάφους, που μπορούν να προσδιοριστούν από τις αεροφωτογραφίες, στις παραμέτρους βαθμονόμησης και προσανατολισμού της κάμερας, στο Ψηφιακό Ύψομετρικό Μοντέλο (Digital Elevation Model-DEM), ένα τρισδιάστατο μοντέλο χάρτη και στην ψηφιακή εικόνα που παράγεται από τη σάρωση και τη λήψη μιας φωτογραφίας μέσω ενός σαρωτή υψηλής ανάλυσης (Lear, 1997).

Κατά τη διόρθωση (rectification), γίνεται επεξεργασία του κάθε εικονοστοιχείο (pixel) της σαρωμένης φωτογραφίας μέσω φωτογραμμετρικών εξισώσεων, οι οποίες διορθώνουν κάθε ελάττωμα που μπορεί να οφείλεται στο ύψος από το οποίο ελήφθη η φωτογραφία, και στον προσανατολισμό της κάμερας. Το Ψηφιακό Ύψομετρικό Μοντέλο (Digital Elevation Model-DEM) αναπαριστά το έδαφος ως μία συλλογή τιμών x,y,z , αρκετά πυκνών σε πληροφορία, ώστε να γίνεται όσο το δυνατόν πιο σωστή αναπαράσταση κατακόρυφων χαρακτηριστικών και χωρίς παραμορφώσεις. Το μοντέλο αυτό αποτελεί τη βάση για ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Terrain Model-DTM), ώστε να γίνει πιο ευκρινής η ύπαρξη παραμορφώσεων στην εικόνα λόγω των χαρακτηριστικών του εδάφους (Lear, 1997).

2.2.2. RTI (Reflectance Transformation Imaging)

Απεικόνιση μετασχηματισμού ανάκλασης

Η τεχνική απεικόνισης Μετασχηματισμού Ανάκλασης Εικόνας (Reflectance Transformation Imaging-RTI), αποτελεί έναν εναλλακτικό τρόπο λήψης δεδομένων αλλά και ένα εργαλείο ανάλυσης που βοηθάει τη διερεύνηση σχεδίων και υφών έργων τέχνης (Mytum & Peterson, 2018). Παράλληλα επιτρέπει την εξέταση των τεχνικών κατασκευής τους, καθώς και της χρήσης τους, της κατάστασης διατήρησής τους και των προηγούμενων επεμβάσεων συντήρησης. Ως εκ τούτου, συμβάλλει σημαντικά στην προληπτική συντήρηση των έργων (Δελαπόρτα, 2016). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις συντήρησης, τόσο επιτόπιας όσο και σε εργαστήριο, ενώ οι πρόσφατες εξελίξεις επιτρέπουν την υποβρύχια χρήση της, όπου μπορούν να προκύψουν εικόνες ακόμα και σε συνθήκες θολού νερού, όπου η κανονική φωτογράφιση δεν είναι ικανοποιητική (Mytum & Peterson, 2018).

Η τεχνολογία RTI χρησιμοποιεί πληθώρα εικόνων του αντικειμένου, οι οποίες προέρχονται από το ίδιο σημείο λήψης. Η καθεμία φωτίζεται από μία γνωστή πηγή φωτός προκειμένου να είναι εφικτή η σύνθεση των εικόνων αυτών. Η τεχνική αυτή διαθέτει λογισμικό το οποίο συνδυάζει τα δεδομένα από λήψεις ξεχωριστών εικόνων σε ένα αρχείο, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να προβληθεί με διάφορους τρόπους. Ο υπολογισμός των δεδομένων αυτών βασίζεται στην πολυωνυμική χαρτογράφηση υφής (Polynomial Texture Mapping-PTM), η οποία αναπτύχθηκε στις αρχές του 21ου αιώνα και στη συνέχεια βελτιώθηκε περαιτέρω (Mytum & Peterson, 2018).

Σύμφωνα με τους Mytum & Peterson (2018), η βασική αρχή της RTI είναι ότι το φως ανακλάται από την επιφάνεια ενός αντικειμένου και η κάθετη ανάκλασή του από την επιφάνεια αναγνωρίζεται από το λογισμικό πρόγραμμα. Μέσω διαφόρων επιφανειών μίας πληθώρας σημείων υπολογίζεται η τοπογραφία της επιφάνειας. Κατ' επέκταση, δημιουργείται μία εικονική τρισδιάστατη τοπογραφία της επιφάνειας του αντικειμένου που εξετάζεται, η οποία μπορεί να επιτρέψει την προσομοίωση φωτός από οποιαδήποτε κατεύθυνση ή τη δημιουργία μοντέλου μιας ομοιόμορφα φωτισμένης σύνθεσης εικόνων.

Η λήψη εικόνων στο εργαστήριο μπορεί να γίνει είτε μέσω του τυπικού RTI, είτε μέσω του Highlight-RTI (H-RTI). Στην πρώτη περίπτωση επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ενός θόλου, ο οποίος αποτελεί μία φωτοστεγή κατασκευή, και περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό λαμπτήρων καθένας από τους οποίους ενεργοποιείται μεμονωμένα, ώστε όλοι τους να παρέχουν επαρκή φωτισμό προκειμένου να ληφθεί η εικόνα από μία σταθερή ψηφιακή κάμερα, τοποθετημένη πάνω από το αντικείμενο. Λαμβάνεται λοιπόν ένα σύνολο εικόνων με τη χρήση όλων των λαμπτήρων και με αυτό τον τρόπο αποκτώνται τα δεδομένα τα οποία ο ερευνητής θα επεξεργαστεί περαιτέρω μέσω της χρήσης λογισμικού προγράμματος (Mytum & Peterson, 2018).

Η επένδυση για την κατασκευή ενός θόλου αξίζει μόνο όταν πρόκειται να εξεταστεί ένα μεγάλο σύνολο αντικειμένων, καθώς παρέχει τη λήψη εικόνων υπό πανομοιότυπες συνθήκες, άρα εξασφαλίζει την ομοιομορφία των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών αντικειμένων. Πειράματα που επίσης έχουν διεξαχθεί με τη χρήση ρομποτικού βραχίονα ανέδειξαν το θόλο ως καλύτερη επιλογή από αυτόν. Συμπληρωματικά, πρόσφατα πειράματα έχουν αναπτύξει ένα φορητό θόλο για χρήση στην υποβρύχια αρχαιολογία. Ενώ η μέθοδος H-RTI δεν απαιτεί τη χρήση θόλου, κάτι που την κάνει ιδιαίτερα ευέλικτη για χρήση σε εργαστήριο αλλά και πιο αποτελεσματική για επιτόπια χρήση σε υποβρύχια ή μη περιβάλλοντα. Η διαδικασία είναι λίγο πιο αργή σε σχέση με την RTI, ο θόλος όπου χρησιμοποιηθεί παραμένει. Ο απαιτούμενος

εξοπλισμός της είναι φορητός και εξαιρετικά ευέλικτος, με ελάχιστα παραπάνω εργαλεία πέρα από τα αναμενόμενα ενός κανονικού φωτογραφικού εξοπλισμού πεδίου (Mytum & Peterson, 2018).

2.2.3. Φωτογραμμετρία

Φωτογραμμετρία (Photogrammetry) ονομάζεται η μέθοδος εξαγωγής τρισδιάστατων μοντέλων ενός αντικειμένου ή περιβάλλοντος από ένα σύνολο τυποποιημένων δισδιάστατων φωτογραφιών (Ruan et. al, 2018). Η ευρεία εφαρμογή της και τα λιγοστά τεχνολογικά εμπόδια που παρουσιάζει οδήγησαν στην εκτεταμένη χρήση της σε ένα σύνολο ακαδημαϊκών κλάδων συμπεριλαμβανομένης της αρχαιολογίας και της παλαιοντολογίας. Λόγω της υπολογιστικής πολυπλοκότητας των υποκειμένων αλγορίθμων, η ανακατασκευή του μοντέλου μπορεί να αποδειχθεί μακροχρόνια ακόμη και όταν χρησιμοποιείται ένα σύστημα υπολογιστή υψηλής απόδοσης. Ωστόσο χάρη στις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των ηλεκτρονικών υπολογιστών και στα λογισμικά φωτογραμμετρίας η μέθοδος παρουσιάζει ραγδαία βελτίωση τόσο στο πρακτικό κομμάτι αλλά και στο κομμάτι της εφαρμογής της.

Σύμφωνα με την έρευνα του Ruan και συνεργατών (2018) η εφαρμογή της Φωτογραμμετρίας πραγματοποιείται μέσα από τα κάτωθι στάδια:

Κατά ο πρώτο στάδιο, τη διαδικασία ευθυγράμμισης των φωτογραφιών (Align Photos), εκτιμάται η θέση και ο προσανατολισμός της κάμερας για κάθε νέα φωτογραφία και δημιουργείται ένα νέφος σημείων, λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα της εικόνας. Εικόνες που δεν είναι σωστά εστιασμένες ή έχουν μικρό βάθος πεδίου μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τα αποτελέσματα ευθυγράμμισης. Στο δεύτερο στάδιο, δίνεται βάση στις εκτιμώμενες θέσεις της κάμερας και στο συνδυασμό των εικόνων και μέσω της δημιουργίας του πυκνού νέφους σημείων (Build Dense Point Cloud) γίνεται ο υπολογισμός πληροφοριών αντιστοιχίας εικόνων. Ο συνδυασμός τους έχει ως αποτέλεσμα ένα ενιαίο, συμπακνωμένο σύνολο σημείων το οποίο αποτελείται από τρισδιάστατες συντεταγμένες που καθορίζουν τις θέσεις των σημείων των αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο. Σε αυτό το στάδιο εμπεριέχονται δύο παράμετροι, η ποιότητα (quality) και το φιλτράρισμα βάθους (depth). Η ποιότητα δίνει τη δυνατότητα καλύτερης ανακατασκευής μέσω ρυθμίσεων με αποτέλεσμα μεγαλύτερη λεπτομέρεια στη γεωμετρία του αντικειμένου, μέσω μεγαλύτερου αριθμού σημείων. Το φιλτράρισμα βάθους (depth filtering) χρησιμοποιείται για την εξάλειψη ακραίων τιμών, που προκύπτουν λόγω της ανεπαρκούς εστίασης των εικόνων ή των υψηλών τιμών θορύβου σε αυτές. Έπειτα, δημιουργείται ένα πολυγωνικό μοντέλο πλέγματος (Build Mesh) με βάση τα τρισδιάστατα δεδομένα του συνόλου σημείων, ενώ με μια παράμετρο "face count" καθορίζεται ο μέγιστος αριθμός πολυγώνων στο τελικό πλέγμα. Ωστόσο, ένας μικρός αριθμός πολυγώνων έχει ως αποτέλεσμα ένα πολύ πρόχειρο και κατά προσέγγιση πλέγμα, ενώ ένας μεγαλύτερος αριθμός μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κατά την οπτικοποίηση του μοντέλου λόγω των απαιτήσεων μνήμης και της φωτορρεαλιστικής απόδοσης. Κατά το τελικό βήμα της διαδικασίας, δημιουργείται μέσω υπολογισμών η υφή (Build Texture) του τρισδιάστατου πολυγωνικού μοντέλου. Η λειτουργία χαρτογράφησης (mapping) της υφής μπορεί να καθοριστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να οριστεί η ανάλυση της υφής και ο τρόπος με τον οποίο αυτή θα συμπεριληφθεί σε ένα ευρύτερο σύνολο υφών.

2.2.4. 3D scanning

3D scanning ή τρισδιάστατη σάρωση με laser ονομάζεται, σύμφωνα με τους Μπιλάλη και Μαραβελάκη (2014), η διαδικασία της καταγραφής δεδομένων τριών διαστάσεων στη μορφή ενός πυκνού πλέγματος σημείων ή επιφανειών. Ανάλογα με το μέγεθος του σχήματος και τη δυνατότητα προσέγγισης των αντικειμένων μπορεί να χρειαστούν πολλές επαναλήψεις για την καταγραφή όλων των δεδομένων, ενώ μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μία επιφάνειες προς σάρωση, ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση. Η σάρωση επηρεάζεται από εξωτερικές συνθήκες όπως ο φωτισμός, η βροχή και ο αέρας, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν τις μετρήσεις.

Τα πλεονεκτήματα των laser scanners, κατά τον ίδιο, είναι ότι συγκεντρώνουν γεωμετρικές συντεταγμένες σημείων με μεγαλύτερη ακρίβεια και σε λιγότερο χρόνο από άλλες μεθόδους και στη συνέχεια αποθηκεύονται με τη μορφή τρισδιάστατου πλέγματος (mesh). Έπειτα, υφίστανται επεξεργασία και αποδίδονται με τη μορφή του γεωμετρικού ομοιώματος. Η χρήση, η επεξεργασία και η μετατροπή τους μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός προσωπικού υπολογιστή ο οποίος, με το κατάλληλο λογισμικό, μετατρέπει το τρισδιάστατο πλέγμα εκατομμυρίων σημείων σε γεωμετρικό ομοίωμα (mesh geometry) που μπορεί να εισαχθεί σε προγράμματα ψηφιακής σχεδίασης (Computer Aided Design).

Η διαδικασία της λήψης και καταγραφής τρισδιάστατων δεδομένων χωρίζεται σε δύο στάδια, την επιτόπια τρισδιάστατη σάρωση ενός μνημείου ή αντικειμένου και την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν.

Κατά το πρώτο στάδιο σαρώνεται ένα μνημείο ή αντικείμενο με αναλυτική καταγραφή όλων των δεδομένων του, καλύπτοντας όλες τις πλευρές του. Έπειτα, κατά το δεύτερο στάδιο, γίνεται επεξεργασία των δεδομένων που έχουν ληφθεί με τη βοήθεια προγραμμάτων επιμέλειας τρισδιάστατων γραφικών. Σε πολλές περιπτώσεις το αποτέλεσμα που προκύπτει από την τρισδιάστατη σάρωση αποδεικνύεται ανεπαρκές, για τη δημιουργία μιας εικονικής αποκατάστασης του αρχικού μνημείου ή αντικειμένου. Αυτό οφείλεται σε φθορές που εντοπίζονται στην αρχική επιφάνεια που έχουν προκύψει από σπασίματα, λόγω των καιρικών συνθηκών, συμπληρώσεις ή ακόμα πρόσθετα στοιχεία από ανθρώπινες επεμβάσεις. Επίσης η τρισδιάστατη σάρωση παράγει εξαιρετικά μεγάλα σε όγκο ψηφιακά ομοιώματα και για αυτό το λόγο γίνεται επιπλέον περαιτέρω επεξεργασία (post-processing), ενώ τα τρισδιάστατα δεδομένα αποκαθίστανται ψηφιακά μέσω των δυνατοτήτων του εκάστοτε λογισμικού τρισδιάστατων γραφικών. Οι επιφάνειες μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους είτε χειροκίνητα, σημείο προς σημείο, είτε με εργαλεία επεξεργασίας επιφανειών για πολυγωνικά αντικείμενα όπως Surface smoothing (εξομάλυνση επιφανειών), Decimating (αποδεκατισμός), Stitching (συρραφή πολυγωνικών αντικειμένων), τα οποία περιέχονται στην πλειοψηφία των προγραμμάτων τρισδιάστατων γραφικών.

Η έρευνα καταλήγει στο ότι η τρισδιάστατη σάρωση με laser scanner συμβάλλει στη δημιουργία αποτελεσματικών τρισδιάστατων ομοιωμάτων μνημείων ή καλλιτεχνημάτων, βοηθώντας τη συντήρηση ή ακόμα και τη δημιουργία ψηφιακών αντιγράφων μουσειακών αντικειμένων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εικονική επίσκεψη ενός χώρου ή στο πλαίσιο μιας ψηφιακής έκθεσης.

2.3. Μελέτες περιπτώσεων εφαρμογής ψηφιακών τεχνολογιών σε τεκμήρια πολιτιστικής κληρονομιάς.

2.3.1. Εφαρμογές σε μεταλλικά αντικείμενα

Μελέτη περίπτωσης 1: Μεταλλικά τεχνουργήματα από ιδιωτικές συλλογές

Εικόνα 12 Ειδικά κατασκευασμένο στούντιο χρησιμοποιώντας περιστρεφόμενη τράπεζα, ελεγχόμενο φωτισμό και κάμερα τοποθετημένη σε τρίποδο (Douglass et al, 2017)

Τα αντικείμενα στην μελέτη περίπτωσης των Douglass και συνεργατών (2017) προέκυψαν από ιδιωτικές συλλογές σε ένα επίσημο roadshow το 2015. Ο στόχος ήταν να ψηφιοποιηθούν και να καταγραφούν τα σχετικά δεδομένα. Αφού ολοκληρώθηκε η καταγραφή της ιστορίας της κάθε συλλογής και των τεχνουργημάτων που περιείχε με λεπτομέρεια, πραγματοποιήθηκε τεκμηρίωση με συνδυασμό τεχνικών δύο και τριών διαστάσεων. Κατά το διάστημα της διςδιάστατης αποτύπωσης (2D), όλα τα αντικείμενα φωτογραφήθηκαν και από τις δύο πλευρές με ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν επίπεδοι σαρωτές προκειμένου να δημιουργηθούν πραγματικές κατόψεις για να παραχθούν εικόνες υψηλότερης ανάλυσης (3D scan). Έπειτα οι φωτογραφίες και οι σαρώσεις υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με τη χρήση των, ανοιχτού κώδικα, προγραμμάτων GIMP και ImageJ και έγινε επαναφορά των φωτογραφιών και των σαρώσεων στις πραγματικές διαστάσεις των αντικειμένων. Κατά το στάδιο της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης, χρησιμοποιήθηκαν τόσο η ψηφιακή **φωτογραμμετρία** όσο και η **τρειςδιάστατη σάρωση με laser** σε επιλεγμένα τεχνουργήματα. Η σάρωση με λέιζερ αποδείχθηκε αρκετά χρονοβόρα, ενώ η φωτογραμμετρική προσέγγιση ήταν η πιο κατάλληλη για τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, λόγω της ευκολότερης πρόσβασης στον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε (φωτογραφική μηχανή, περιστρεφόμενη τράπεζα και τρίποδο) (εικόνα 12). Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση έγινε στο πρόγραμμα Agisoft Photoscan και η ευθυγράμμιση των δύο ξεχωριστών μοντέλων, η ανάπτυξη των πλεγμάτων στερεών και υφής ολοκληρώθηκαν με τη χρήση “υψηλών” ρυθμίσεων. Τα δύο κομμάτια ευθυγραμμίστηκαν και συγχωνεύτηκαν στο Photoscan, για τη δημιουργία ενός συμπαγούς μοντέλου του πλήρους αντικειμένου, με τελικό βήμα την εξαγωγή του μοντέλου σε διάφορες μορφές, όπως plz, obj, pdf (εικόνα 13). Η επεξεργασία κάθε μοντέλου διήρκεσε 20 με 30 λεπτά, ενώ ήταν δυνατή και η μαζική επεξεργασία με ελάχιστη συμμετοχή των χειριστών των προγραμμάτων. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργήθηκαν είναι εξαιρετικά λεπτομερή και επιτρέπουν τόσο την ορθή οπτικοποίηση των αντικειμένων, όσο και τις αναλύσεις που διεξήχθησαν.

Εικόνα 13 Παραδείγματα τρισδιάστατων μοντέλων των αντικειμένων που τεκμηριώθηκαν στα roadshows του 2015 (Douglass et al, 2017)

Μελέτη περίπτωσης 2: Σιδερένια περόνη τύπου Montedinove

Η μελέτη περίπτωσης των Kmosek J. και Leroux M. (2016), εξέτασε μια σιδερένια περόνη που βρίσκεται στην κατοχή του Μουσείου του Λούβρου αποκτημένη από την συλλογή Bessonpeau. Προέρχονταν από μια νεκρόπολη της Πικηνίας κοντά στην Ετρουρία (Marche, Ιταλία), του 6^{ου} αιώνα π.Χ. Η περόνη είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτη για το σχήμα, το μέγεθος -καθώς οι περόνες τύπου Montedinove είναι συνήθως μικρότερες- τη χειροτεχνία και τη διακόσμησή της με μπρούτζινα ένθετα καλύπτοντας σχεδόν όλη την επιφάνεια του αντικειμένου. Στο αντικείμενο πραγματοποιήθηκε εξέταση με ακτίνες X, μικροσκοπία σάρωσης ηλεκτρονίων και μεταλλογραφική ανάλυση προτού πραγματοποιηθεί 3D scanning. Στην επιφάνεια του αντικειμένου διακρίνονται προϊόντα διάβρωσης σιδήρου και χαλκού. Τα προϊόντα διάβρωσης του χαλκού είναι ορατά μόνο στην επιφάνεια των χάλκινων στοιχείων που δεν συνδέονται άμεσα με το υλικό σιδήρου και επομένως αυτή η διαδικασία διάβρωσης θα μπορούσε να περιγραφεί ως τοπική γαλβανική διάβρωση. Οι εργασίες συντήρησης αφορούσαν κυρίως την επιφανειακή στερέωση, τον μηχανικό καθαρισμό και προστασία/σταθεροποίηση της επιφάνειας του αντικειμένου. Η ψηφιακή απεικόνιση του σχήματος του αντικειμένου πριν και μετά τη συντήρηση (εικόνα 14) επιτεύχθηκε μέσω του σαρωτή λέιζερ 3D

Εικόνα 14 Τρισδιάστατη τεκμηρίωση μοντέλων του αντικειμένου. α) Πριν τη συντήρηση, β) Σύγκριση μοντέλων πριν και μετά τη συντήρηση, γ) Μοντέλο μετά τη συντήρηση, δ) Μοντέλο μετά τη συντήρηση με κίτρινη ένδειξη "αρχική επιφάνεια", ε, ς) Σύγκριση μοντέλου μετά τη συντήρηση και μοντέλο ανακατασκευασμένου σχήματος (© C2RMF/Jiri Kmosek)

Konica Minolta Range 7 με ανάλυση 40 μm και ακρίβεια 4 μm. Η σάρωση πραγματοποιήθηκε με φακό Tele από απόσταση περίπου 500 mm σε μία ημέρα. Η λειτουργία του σαρωτή και η επακόλουθη επεξεργασία δεδομένων για τη δημιουργία σημείων μοντέλων cloud ελέγχονταν με το λογισμικό Range Viewer. Η μετα-επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Geomagic Design X, συμπεριλαμβανομένης της ευθυγράμμισης μεμονωμένων σαρώσεων, ανακατασκευής ενός ενιαίου μοντέλου και τριγωνισμού των σαρώσεων από τα σημεία των νεφών στα πολυγωνικά πλέγματα. Κρίθηκε απαραίτητη, ως ένα είδος τεκμηρίωσης, η παραγωγή εικονικού μοντέλου της «αρχικής επιφάνειας» του αντικειμένου για την περαιτέρω εξέταση του σχήματός του αντικειμένου λόγω της εκτεταμένης διάβρωσης του υλικού και της αλλοίωσης του σχήματός του αντικειμένου. Η τεχνική καταγραφής των πληροφοριών στην επιφάνεια του τρισδιάστατου μοντέλου πραγματοποιήθηκε στη λειτουργία Painting του λογισμικού MeshLab. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια κατά την επεξεργασία του τελικού μοντέλου του ανακατασκευασμένου σχήματος του αντικειμένου (εικόνα 15).

Εικόνα 15 Εικονική ανακατασκευή πρωτότυπου σχήματος της περόνης (© C2RMF/Jiri Kmosek)

Τέλος, πραγματοποιήθηκε 3D εκτύπωση του αντικειμένου (εικόνα 16). Η τρισδιάστατη εκτύπωση του αντικειμένου, μετά τη συντήρηση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μοντέλο για την κατασκευή στοιχείων μουσειακής έκθεσης, αποφεύγοντας έτσι τη φθορά λόγω χρήσης. Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε μοναδικά αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς λόγω χρονικών, οικονομικών και εξοπλιστικών περιορισμών. Η χρήση μιας μεγάλης ποικιλίας σύγχρονων λειτουργιών ψηφιακής τεχνολογίας σε 3D (οπτικοποίηση, επεξεργασία δεδομένων, ανακατασκευή και μοντελοποίηση, σύγκριση, αναπαραγωγή, εξέταση κ.λπ.) αποδείχθηκε επιτυχής κατά την τεκμηρίωση κρίσιμων πληροφοριών για το ιστορικό αντικείμενο (π.χ. η θέση και η έκταση της αρχικής επιφάνειας).

Εικόνα 16 Τρισδιάστατα εκτυπωμένα μοντέλα της περόνης πριν, μετά τη συντήρηση και της ανακατασκευής του αρχικού σχήματος (© UCT/Jiri Kmosek)

Μελέτη περίπτωσης 3: Αργυρά επίχρυσα δισκόμορφα ελάσματα από τους Τάφους του Δερβενίου



*Εικόνα 17 Σχεδιαστική αποτύπωση δίσκου
©Θέμελης, 1997*

Οι τάφοι του Δερβενίου στην Μακεδονία ανακαλύφθηκαν το 1962 από τον Π. Θέμελη. Θεωρούνται ένας από τους σημαντικότερους αρχαιολογικούς χώρους της βόρειας Ελλάδας λόγω των πολυάριθμων πλούσιων ταφικών αναθημάτων και της σημαντικής θέσης. Το νεκροταφείο αποτελείται από επτά τάφους και, σύμφωνα με την ανασκαφική δημοσίευση, χρονολογείται στο 320–290 π.Χ. (Θέμελης, 1997). Σε έρευνα της Κοτούλα (2018) αναφέρεται ότι μεταξύ της πλούσιας συλλογής ευρημάτων, περιλαμβάνονταν και τα αργυρά επίχρυσα δισκόμορφα ελάσματα που χρησιμοποιούνταν ως διακοσμητικά στοιχεία θώρακα (εικόνα 17). Η κατάσταση διατήρησης των δίσκων ήταν αρκετά κακή. Είχαν υποστεί

παραμόρφωση, απόσπαση υλικού, διάβρωση σε όλη την επιφάνειά τους και οι προηγούμενες εργασίες συντήρησης δεν ήταν ικανοποιητικές. Η ευθραυστότητά τους προκάλεσε σημαντικά προβλήματα κατά το χειρισμό τους, ακόμη και από το πρώτο στάδιο της έρευνας για την εκτίμηση της κατάστασής διατήρησής τους. Η επανειλημμένη εξέταση αυτών των αντικειμένων κατά τη διάρκεια της ανάρτησής τους στο μουσείο μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ακεραιότητά τους.

Το **RTI** επιλέχθηκε ως προληπτικό μέτρο διατήρησης των πληροφοριών των τεχνουργμάτων, ελαχιστοποιώντας έτσι το χειρισμό για τη μελέτη τους και την περαιτέρω

φθορά τους. Χρησιμοποιήθηκε μικροσκοπική εξέταση με φωτισμό διπλής όψης και από 5° έως 45° στο επίπεδο του αντικειμένου, για να αποκαλύψει τα βασικά υλικά κατασκευής, τυχόν σημάδια εργαλείων, ίχνη επιχρύσωσης, λεπτομέρειες συναρμολόγησης, στοιχεία χρήσης και φθορές. Η συλλογή δεδομένων RTI πραγματοποιήθηκε στο τμήμα συντήρησης του Αρχαιολογικού Μουσείου Θεσσαλονίκης (εικόνα 18).

Εικόνα 18 Λεπτομέρειες του πολύ φθαρμένου θραύσματος φύλλου αργύρου: σύγκριση μικροφωτογραφίας (αριστερά) και απεικόνισης RTI (δεξιά). Η ορατή περιοχή είναι 15 mm. ©Kotoula, 2018

Το τελικό αποτέλεσμα που αποκτήθηκε μέσω του Microscopic RTI αποδείχθηκε ένα πολύτιμο εργαλείο για την τεκμηρίωση και την αναφορά της κατάστασης διατήρησης του αντικειμένου και των μεταβολών της επιφάνειας. Αποκαλύφθηκαν μικρές ανωμαλίες στην επιφάνεια, εκδορές, κενά και κοιλώματα. Η μέθοδος αυτή βοήθησε επίσης στην εξέταση και τον χαρακτηρισμό της φυσικής φθοράς. Οι χαμηλού ανάγλυφου διακοσμήσεις έγιναν εμφανείς και διακρίθηκαν από τις εναποθέσεις, επικαλύψεις ή τη διάβρωση της μεταλλικής επιφάνειας. Η ικανότητα του μικροσκοπικού RTI να δίνει έμφαση στη διακύμανση της επιφάνειας μπορεί να θεωρηθεί εργαλείο έρευνας. Για παράδειγμα, περιοχές με γραμμική υφή στην πίσω πλευρά των δίσκων, μπορεί να υποδηλώνουν επαφή με ύφασμα (εικόνα 19). Τέτοιες πληροφορίες είναι σημαντικές αρχαιολογικές μαρτυρίες και θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην ερμηνεία του αντικειμένου και το χαρακτηρισμό του, πιθανώς ως στοιχείο διακοσμητικής ενδυμασίας.

Εικόνα 19 Λεπτομέρεια θραύσματος (πίσω όψη). Το μικροσκοπικό RTI αποκαλύπτει την οριζόντια γραμμική υφή, η οποία μπορεί να υποδηλώνει την επαφή με άλλο υλικό, πιθανώς οργανικό, όπως το ύφασμα. ©Kotoula, 2018

2.3.2. Εφαρμογές σε ξύλινα αντικείμενα και μνημεία

Μελέτη περίπτωσης 1: Ιστορικό ξύλινο κυβερνητικό κτίριο στη Νέα Ζηλανδία

Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, στην οποία αναφέρεται ο Potangaroa (2022), εξετάζεται ένα μεγάλο τετραώροφο κτίριο στο CBD του Wellington, το οποίο χτίστηκε το 1876. Αποτελεί μία αξιόλογη ξύλινη κατασκευή και ένα από τα πιο ιστορικά κτίρια της Νέας Ζηλανδίας, σχεδιασμένο από τον William Clayton σε αναγεννησιακό στυλ. Στο κτίριο περιλαμβάνονται 2 κλιμακοστάσια, 8 θόλοι, 143 δωμάτια, 126 τζάκια, 22 καμινάδες, δύο υδραυλικοί ανελκυστήρες, 64 τουαλέτες, 8:00 βεράντες και 7 στοές. Σήμερα, ανήκει στο Heritage New Zealand (HNZ), το οποίο έχει αναλάβει και τη συντήρησή του.

Το 2019 το HNZ κλήθηκε να αποφασίσει αν θα έπρεπε να αντικατασταθεί η σκεπή ή όχι, έργο που ανέλαβε το School of Architecture. Εν μέσω των υπολοίπων διεργασιών, πραγματοποιήθηκε τρισδιάστατη σάρωση του εσωτερικού χώρου του κτιρίου, αλλά και εξωτερική τρισδιάστατη σάρωση (**3D scanning**) σημείων νεφών με χρήση drone, προκειμένου τα δύο σύνολα δεδομένων να συνδυαστούν (*εικόνα 20*).

Η σάρωση του εσωτερικού στη στέγη με οριζόντιες τομές, έδωσε τα πρώτα ακριβή δεδομένα σχετικά με τη δομή της. Ωστόσο, η ένωση των τρισδιάστατων δεδομένων drone και του σαρωτή Leica BLK360 (εδαφικής βάσης) δεν απέδωσε στο βαθμό που αναμενόταν, καθώς ο στόχος ήταν να ενωθούν τα σύνολα δεδομένων, μέσω κοινών σημείων στα δύο σημεία πρόσβασης της οροφής. Οι προσόψεις του κτιρίου χαρτογραφήθηκαν επιτυχώς με νέφη σημείων του drone μέσω της χρήσης του software PIX4D (*εικόνα 21*).

Ως εκ τούτου, επιτεύχθηκε ένα επίπεδο ακρίβειας που θα ήταν δύσκολο/αδύνατον με οποιονδήποτε άλλο τρόπο να αποτυπωθεί, αλλά αυτό απαιτεί, βέβαια, περισσότερη έρευνα όσον αφορά στον ορθό καθορισμό των σημείων ελέγχου.

Εικόνα 20 (Εξωτερικές σαρώσεις BLK 360 scans του OWGB, Potangaroa, 2022)

Εικόνα 21 (Εξωτερική σάρωση με drone του OWGB, Potangaroa, 2022)

Μελέτη περίπτωσης 2: Εικόνα Αγίου Νικολάου των Μύρων

Σύμφωνα με τη μελέτη των Kęsik και συνεργατών (2023) μια φορητή εικόνα αποτελούσε ένα παράδειγμα αντικειμένου ελεύθερα προσβάσιμο από το κοινό που όμως παραμένει ακίνητο. Είναι σταθεροποιημένη στον τοίχο της ορθόδοξης εκκλησίας της Ράυσα στη Ρουμανία, μιας εκκλησίας που χτίστηκε το 1730 και ανακαινίστηκε την περίοδο 1966 έως 1968. Η φορητή εικόνα χρονολογείται πιθανότατα από τα μέσα του 18ου αιώνα και βρίσκεται μέσα σε ένα ξύλινο πλαίσιο με μοτίβο στρεβλών κίωνων. Χαρακτηριστικό της είναι το ξύλινο κυρτό φωτοστέφανο και οι επιχρυσωμένοι σκαλιστοί σταυροί. Σαρώθηκε με τη χρήση της μεθόδου 3DScaMOTO, μια υποκατηγορία της μεθόδου 3D Scanning, κατά τη διάρκεια της πρώτης επιστημονικής αποστολής του Lublin University of Technology στην περιοχή Maramures της Ρουμανίας. Όσον αφορά τη μέθοδο 3DScaMOTO (3D Scanning Methodology in the Open for Tourists Objects), αποτελεί μία προσέγγιση των ερευνητών για τη σάρωση μικρού και μεσαίου μεγέθους αντικειμένων, που δεν μπορούν να μετακινηθούν για να γίνει η σάρωση, όπως στην περίπτωση της παρούσας πτυχιακής. Λόγω του ότι οι ερευνητές δεν ήταν σε θέση να γνωρίζουν την ευαισθησία του αντικειμένου στο έντονο φως, χρησιμοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός της εκκλησίας κατά τη σάρωση. Η διαδικασία σάρωσης διήρκεσε 12 λεπτά κατά τη διάρκεια των οποίων πραγματοποιήθηκαν τέσσερις σαρώσεις της μπροστινής πλευράς της εικόνας. Η πίσω πλευρά της δεν σαρώθηκε καθώς ήταν σταθεροποιημένη στον τοίχο. Η επεξεργασία των δεδομένων για τη δημιουργία του τρισδιάστατου πλεγματοειδούς μοντέλου με τις υφές διήρκεσε μιάμιση ώρα, ενώ το τελικό μοντέλο προέκυψε μετά από μία ώρα. Τα αποτελέσματα θεωρήθηκαν ικανοποιητικά ως προς την ποιότητα και την αποδοτικότητα σε σχέση με τη σύντομη διάρκεια της σάρωσης (εικόνα 22).

Εικόνα 22 Τρισδιάστατο βασικό μοντέλο της «Εικόνας του Αγίου Νικολάου των Μύρων»: επισκόπηση (αριστερά) και ορατό πλέγμα (δεξιά), (Kęsik et al, 2023)

Μελέτη περίπτωσης 3: Το ναυάγιο Tyro

Το ναυάγιο του σκάφους Tyro βρίσκεται σε 59 μέτρα από τη λίμνη Huron. Το σκάφος, μία σκούνα με τρία караβόσκαλα, κατασκευάστηκε από τους Wolfe & Davidson το 1873 στο Milwaukee (εικόνα 23) και αντιμετώπισε πολλά προβλήματα μέχρι την τελική βύθιση του, το 1899. Αποτελεί μέχρι και σήμερα πόλο έλξης των δυτών, οι οποίοι μπορούν να κολυμπήσουν μέσα στα αμπάρια της σκούνας για να παρατηρήσουν την κατασκευή του πλοίου. Σύμφωνα με πληροφορίες από την ιστοσελίδα Shipwreck Explorers, το ναυάγιο βρίσκεται σε όρθια στάση, ενώ η πλώρη είναι εντελώς άθικτη, με τις άγκυρες και μέρος του βραχίονα ακόμα συνδεδεμένα πάνω του. Το 2020 στα πλαίσια του project 3D Shipwrecks.org, μέλη της μη κερδοσκοπικής οργάνωσης Great Lakes Shipwreck Preservation Society of Minnesota (GLSPS) κατέβηκαν σε βάθος 30 μέτρων, στο οποίο βρίσκεται το ναυάγιο, προκειμένου να αποτυπώσουν ψηφιακά, μέσω της μεθόδου 3D Scanning, την τωρινή κατάσταση διατήρησης του σκάφους. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε από τους Ken και συνεργατών (2020) ήταν μία ψηφιακή κάμερα Canon 5d Mark IV με την οποία τραβήξαν 1.564 καρέ. Η επεξεργασία των φωτογραφιών έγινε στο πρόγραμμα Agisoft, μέσω του οποίου δημιούργησαν το τρισδιάστατο μοντέλο του εν λόγω σκάφους. Τέλος, δημοσίευσαν το μοντέλο στη σελίδα <https://3dshipwrecks.org/> η οποία αποτελεί μία βάση αρχειοθέτησης ψηφιακών απεικονίσεων παρόμοιων περιπτώσεων. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά, καθώς διακρίνονται πολύ καθαρά λεπτομέρειες από τα συντρίμια του ναυαγίου και ο χρήστης μπορεί να περιηγηθεί με ευκολία στην παρουσίαση του τρισδιάστατου μοντέλου που έχει δημοσιευθεί (εικόνα 24).

Εικόνα 23 Το ναυάγιο Tyro το 1899 (© <https://www.shipwreckexplorers.com/>)

Εικόνα 24 Η τρισδιάστατη απεικόνιση του ναυαγίου που μπορεί να περιηγηθεί ο χρήστης (© <https://3dshipwrecks.org/>, 2020)

2.3.3. Εφαρμογές σε υφασμάτινα αντικείμενα

Μελέτη περίπτωσης 1: Μινωικά και Μυκηναϊκά αντίγραφα φορεμάτων

Η συλλογή που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη περίπτωσης των Costello και συνεργατών (2023) δημιουργήθηκε στα πλαίσια της έρευνας της Dr. Bernice Jones, κατά την οποία η ίδια κατασκεύασε δεκάδες αντίγραφα ενδυμασιών του μινωικού και του μυκηναϊκού πολιτισμού. Τα ενδύματα βασίζονται σε έργα τέχνης που χρονολογούνται από το 2000 έως το 1250 π.Χ. στην Κρήτη, στη Σαντορίνη αλλά και στην Ηπειρωτική Ελλάδα. Ενώ δεν υπάρχουν σωζόμενα υφαντουργικά ευρήματα από αυτή την περίοδο, ένα εκτεταμένο αρχαιολογικό αρχείο με μορφές, αγγεία και τοιχογραφίες παρείχε στην ερευνήτρια το υπόβαθρο για να ξεκινήσει τη μελέτη της. Κάθε σύνολο αποτελούνταν από τουλάχιστον δύο μέρη, ένα χιτώνα και μία φούστα. Πρόσθετα στοιχεία θα μπορούσαν να είναι μία ποδιά, ένα γιλέκο, μία κορδέλα στο κεφάλι ή μια ζώνη. Κάθε ένδυμα βασίστηκε σε υπάρχων αντίγραφο του αρχαιολογικού ευρήματος.

Εικόνα 25 Μέλος του IDEX που χρησιμοποιεί το Artec Eva για τρισδιάστατη σάρωση των ενδυμάτων. Θεά των Οφειων (αριστερά) και Κροκοσυλλέκτρια (δεξιά), (Costello et al 2023)

Κατά την άνοιξη του 2022, τα μέλη του Ινστιτούτου Ψηφιακής Εξερεύνησης (Institute for Digital Exploration-IDEx) στο University of South Florida υπέβαλαν σε τρισδιάστατη σάρωση (**3d scanning**) οκτώ κοστούμια από τη μεγαλύτερη συλλογή αντιγράφων. Κάθε ένδυμα σαρώθηκε με τη χρήση ενός σαρωτή δομημένου φωτός Artec Eva (εικόνα 25), ενώ η επεξεργασία τους έγινε στο πρόγραμμα Artec Studio 13 Professional. Τα κοστούμια τοποθετήθηκαν σύμφωνα με τις ιστορικές και αρχαιολογικές γνώσεις σε κούκλες-μοντέλα, οι οποίες τοποθετήθηκαν στις κατάλληλες στάσεις για το εκάστοτε ένδυμα. Οι σαρώσεις έγιναν με τη χρήση προεπιλεγμένων ρυθμίσεων, ενώ η μετέπειτα επεξεργασία έγινε με το πρόγραμμα Geomagic Wrap 2021. Η απόσταση του σαρωτή από τα αντικείμενα ήταν περίπου μισό έως ένα μέτρο και αποδείχθηκε ικανή για την επιτυχή αποτύπωση λεπτομερειών όπως, ραφές, νήματα και κρόσια. Ορισμένες τέτοιου τύπου λεπτομέρειες ήταν δύσκολο να επεξεργαστούν, ωστόσο ο αλγόριθμος περιτύλιξης υφής (texture wrapping algorithm) κατάφερε να δώσει αρκετές πληροφορίες και λεπτομέρειες και έτσι, για παράδειγμα, απαλές τσακίσεις στο ύφασμα εντοπίστηκαν με ακρίβεια (εικόνα 26). Μόλις ολοκληρώθηκε η επεξεργασία των τρισδιάστατων δεδομένων στο Artec Studio, τα οκτώ τρισδιάστατα πλέον μοντέλα των προαναφερθέντων ενδυμάτων μεταφορτώθηκαν ως συλλογή στο αποθετήριο τρισδιάστατης πολιτισμικής κληρονομιάς Sketchfab, μαζί με τα αρχαιολογικά μεταδεδομένα και τα τεχνικά παραδείγματα.

¹Εικόνα 26 Λεπτομέρειες του συνόλου της «Κροκοσυλλέκτριας» που δείχνει την ορατή δομή της ύφανσης του υφάσματος στο πλέγμα και την υφή, (Costello et al 2023)

Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά, αφενός γιατί αποδόθηκαν με ακρίβεια λεπτομέρειες των υφών των ενδυμάτων, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στη συντήρηση ως προς τον τρόπο κατασκευής τους και την εξέταση της δομής των υφάνσεων και των ραφών (εικόνα 27). Και αφετέρου γιατί παρουσιάζεται ως παράδειγμα για το πώς μια τέτοια τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την επίτευξη της παγκόσμιας ψηφιακής διάδοσης της γνώσης στο ευρύ κοινό (εικόνα 28).

Εικόνα 27 Παραλλαγές στην υφή των υφασμάτων της φούστας και του χιτόνα του ψηφιοποιημένου ενδύματος της «Θεάς των Όφρων», (Costello et al 2023)

Εικόνα 28 Συλλογή των οκτώ 3D σαρωμένων ενδυμάτων της συλλογής Sketchfab (αριστερά) και του τελευταίου τρισδιάστατου μοντέλου του συνόλου Μυκεναία (δεξιά), (Costello et al 2023)

Μελέτη περίπτωσης 2: Συντήρηση του χαλιού Kinghorne

Εικόνα 29 Το χαλί πριν τη συντήρηση (McLeod M., 2018)

Στην παρούσα περίπτωση παρουσιάζεται ένα σπάνιο χαλί του 17^{ου} αιώνα (εικόνα 29) που αποκτήθηκε από το Εθνικό Μουσείο της Σκωτίας το 1980 και μελετήθηκε από τις συντηρήτριες McLeod M. και Kirkwood I. (2018). Το χαλί είναι χειροποίητο με μάλλινο πέλος σε υφαντή βάση κάνναβης, διαστάσεων 5277 mm x 2460 mm. Θεωρείται ότι χρησιμοποιήθηκε ως κάλυμμα τραπεζιού και όχι ως χαλί δαπέδου και πιστεύεται ότι κατασκευάστηκε στην Αγγλία, μιμούμενοι χαλιά που εισάγονταν από την Τουρκία. Στο παρελθόν έχει πραγματοποιηθεί η συντήρησή του, η οποία περιλάμβανε την υποστήριξη των κατεστραμμένων και αδύναμων άκρων του με κομμάτια λινού υφάσματος. Σε άκρο του έφερε μεγάλη απώλεια υλικού, η οποία συμπληρώθηκε, ράβοντάς στο πίσω μέρος του χαλιού στο λινό ύφασμα υποστήριξης ζωγραφισμένο ύφασμα στο χέρι συμπληρώνοντας το μοτίβο του χαλιού, με ειδικές βαφές για υφάσματα (εικόνα 30). Το 2016, αποφασίστηκε η αντικατάσταση της -ζωγραφισμένης στο χέρι συμπλήρωσης- με ένα ψηφιακά τυπωμένο ύφασμα, το οποίο θα έδινε μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση του μοτίβου. Οι συντηρητές συνεργάστηκαν με το Centre for Advanced Textiles (CAT) στη Γλασκώβη, το οποίο ειδικεύεται στην τεχνολογία ψηφιακής εκτύπωσης σε υφάσματα.

Εικόνα 30 Λεπτομέρεια του χαλιού σε άκρο του, παρουσιάζοντας το -βαμμένο στο χέρι- υποστήριγμα (McLeod M., 2018)

Πραγματοποιήθηκαν λήψεις (**ορθοφωτογραφικά**) από τμήμα του χαλιού με παρόμοιο μοτίβο. Παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη ήταν, η απόδοση της υφής του χαλιού κατά την εκτύπωση, καθώς θα έπρεπε να πλησιάζει αρκετά στην πραγματική υφή. Αποφασίστηκε να τυπωθεί σε βαμβακερό ύφασμα απλής ύφανσης, καθώς θα αποδίδονταν ορθότερα το βάθος και η υφή του πέλους, χωρίς παραμορφώσεις .

Εικόνα 31 Διαφορετικές εκδοχές της ψηφιακής εκτύπωσης του μοτίβου σε ύφασμα (McLeod M., 2018)

Άλλες πτυχές που έπρεπε να ληφθούν υπόψη ήταν η κλίμακα και το χρώμα. Οι διαδικασίες εκτύπωσης μπορεί να επιφέρουν μικρές αλλαγές διαστάσεων στο τυπωμένο ύφασμα λόγω διαφόρων παραγόντων, όπως η θερμοκρασία, η ρύθμιση των μελανιών και οι διαδικασίες φινιρίσματος. Καθ' όλη τη διαδικασία, δημιουργήθηκαν μια σειρά από εκτυπωμένα δείγματα για την διόρθωση του κορεσμού των χρωμάτων, της απόχρωσης και αντίθεσης και των σωστών διαστάσεων, μέχρι την τελική τους έκδοση (εικόνα 31, 32).

Το νέο τυπωμένο ύφασμα τοποθετήθηκε πίσω από την μεγάλη απώλεια υλικού, ραμμένο με πολυεστερική κλωστή και υποστηριζόμενο από ένα μεγαλύτερο κομμάτι λινού υφάσματος. Το αποτέλεσμα θεωρείται πολύ ικανοποιητικό, καθώς το ψηφιακά εκτυπωμένο μοτίβο σε σχέση με το χαλί δεν γίνεται εύκολα

Εικόνα 32 Σύγκριση εκδοχών και χαλιού για την επιλογή του χρώματος (McLeod M., 2018)

αντιληπτό κι έτσι ο θεατής έχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την αρχική εμφάνιση του αντικειμένου.

2.3.4. Εφαρμογές σε σύνθετα αντικείμενα

Μελέτη περίπτωσης 1: Emir of Bukhara's costume

Το αντικείμενο που παρουσιάζεται σε αυτή την περίπτωση έχει μελετηθεί από τους Montusiewicz και συνεργάτες (2021). Είναι η ενδυμασία του εμίρη της Μπουχάρα (Emir of Bukhara's costume), το οποίο βρίσκεται στο Samarkand State Integrated Historical-Architectural Art Museum-Reserve και χρονολογείται κατά το 1895. Το μουσείο βρίσκεται στο Samarkand του Ουζμπεκιστάν, όπου παρουσιάζονται παραδοσιακές τοπικές φορεσιές τοποθετημένες σε βιτρίνες. Το κοστούμι αποτελείται από χρυσοκέντητη φορεσιά, *salla* (τουρμπάνι) και *mahsi* και *kaushi*, δηλαδή ψηλά και χαμηλά παπούτσια. Όλα τα στοιχεία είναι φτιαγμένα από ύφασμα και χρονολογούνται στο τέλος του 19ου αιώνα. Η επιλογή τους έγινε λόγω της πληθώρας υλικών, όπως το χοντρό ύφασμα της φορεσιάς, η χρυσή κλωστή και το λεπτό ύφασμα στο τουρμπάνι. Έτσι η μέθοδος που επιλέχθηκε εφαρμόστηκε σε αντικείμενα με σημαντικές διαφορές σε υφές και υλικά κατασκευής.

Εικόνα 33 Τρισδιάστατη σάρωση SLS των στοιχείων της φορεσιάς του Εμίρη: a) ρόμπα, b) τουρμπάνι/ salla, c) kaushi/χαμηλό παπούτσι και d) mahsi/ψηλό παπούτσι (Montusiewicz et al, 2021)

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή της **τρειςδιάστατης σάρωσης** με τη χρήση “δομημένου φωτός” (3D SLS). Σε αυτή τη μέθοδο γίνεται χρήση ενεργού φωτισμού της σκηνής, με ειδικό δισδιάστατο μοτίβο, χωρικά μεταβαλλόμενης έντασης (Geng, 2011) (εικόνα 33). Παράλληλα ένας αισθητήρας απεικόνισης, όπως η φωτογραφική μηχανή στην παρούσα πτυχιακή εργασία, χρησιμοποιείται για τη λήψη δισδιάστατης εικόνας της σκηνής, κάτω από τον παραπάνω φωτισμό (Geng, 2011). Εφόσον η επιφάνεια δεν είναι επίπεδη, το γεωμετρικό

σχήμα της παραμορφώνει το προβαλλόμενο μοτίβο δομημένου φωτός, όπως φαίνεται από τη φωτογραφική μηχανή, εξάγοντας τρισδιάστατα σχήματα βασισμένο στις πληροφορίες που δίνουν αυτές οι παραμορφώσεις (Geng, 2011). Η μεθοδολογία της έρευνας χωρίστηκε σε πέντε στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο έγινε σχεδιασμός των βημάτων πριν ξεκινήσει η διαδικασία της σάρωσης, ενώ στο δεύτερο στάδιο ξεκίνησε η προετοιμασία του χώρου και των συνθηκών, κάτω από τις οποίες επρόκειτο να σαρωθούν τα αντικείμενα, και έγινε συλλογή δεδομένων σχετικών με αντικείμενα. Στο τρίτο στάδιο έγινε προκαταρκτική επαλήθευση των σαρώσεων, με την καταγραφή του τόπου και της ώρας της σάρωσης, ώστε να γίνει βέβαιο ότι η 3D SLS λειτουργεί σωστά. Στο επόμενο στάδιο τα πρώτα δεδομένα υποβλήθηκαν σε πλήρη επεξεργασία προκειμένου να οριστεί το μοντέλο-βάση και η αρχειοθέτησή του, ενώ στο πέμπτο και τελευταίο στάδιο χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο-βάση, προκειμένου να δημιουργηθούν μορφές του για άλλες χρήσεις όπως, παράδειγμα, η παρουσίαση του σε μία ιστοσελίδα. Το γυαλί της βιτρίνας στάθηκε σημαντικό εμπόδιο κατά τη διαδικασία της προετοιμασίας, της σάρωσης και της φωτογραφικής αρχειοθέτησης, επειδή εμπόδιζε τη σωστή τοποθέτηση του σαρωτή σε σχέση με το αντικείμενο προς σάρωση. Κατά συνέπεια, για τη σωστή σάρωση των επιφανειών χρειάστηκε τα εκθέματα να αφαιρεθούν από τις προθήκες. Στο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων που είχαν συλλεχθεί, η επεξεργασία των τρισδιάστατων σχεδίων έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθούν τα μοντέλα-βάσεις.

Εικόνα 34 Βασικό μοντέλο του τουρμπανιού, α) ολοκληρωμένη άποψη και β) λεπτομέρεια του μοντέλου με ορατό το πλέγμα των τριγώνων

Το αποτέλεσμα ήταν 30 σύννεφα σημείων (point clouds) με συνολικό όγκο πάνω από 6 GB (εικόνα 34). Ο συνολικός αριθμός των σημείων ήταν πάνω από 146 εκατομμύρια και αντικατόπτριζαν επιτυχώς τη γεωμετρία των αντικειμένων, αλλά και πληροφορίες σχετικά με το χρώμα της επιφάνειάς τους. Θεωρήθηκε απαραίτητο, λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, να μειωθεί η λεπτομέρεια του πλέγματος, δηλαδή, μείωση του αριθμού των τριγώνων που αποτελούν τα Μοντέλα Διάδοσης σε σχέση με τα Βασικά Μοντέλα, για την ευκολότερη χρήση των μοντέλων μέσω διαδικτύου. Τα αποτελέσματα θεωρήθηκαν ικανοποιητικά, παρόλο που

χάθηκαν λεπτομέρειες της επιφάνειας που καθορίζουν το σχήμα του κεντήματος στο ένδυμα, το οπτικό αποτέλεσμα διατηρήθηκε σε καλό επίπεδο χάρη στην ορθή αποτύπωση της υφής (εικόνα 35). Ωστόσο, στην περίπτωση της παρουσίασης των μοντέλων χρησιμοποιώντας την τεχνική της δυναμικής σκιάς (dynamic shadow), στο λογισμικό πρόγραμμα δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου, μόνο οι σκιές στις άκρες του κεντήματος, που προκύπτουν από την διάταξη των πτυχών του ενδύματος, δεν κατέστη δυνατό να αναπαραχθούν.

Εικόνα 35 Μοντέλο διάδοσης της ψηφιακής απεικόνισης που συντίθεται στα λογισμικά Blender και Meshlab a) συνδυασμός όλων των στοιχείων της ρόμπας του Εμίρη και b) στο φυσικό τοπίο της αίθουσας του θρόνου του παλατιού που βρίσκεται στην Κιβωτό της Μπουχάρα

Μελέτη περίπτωσης 2: Η βιβλιοθήκη Piffetti

Το αντικείμενο σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης των Russo και συνεργατών (2023), χρονολογείται κατά την περίοδο 1735 με 1740 και εντοπίζεται, για πρώτη φορά, στο διαμέρισμα του βασιλιά King Charles Emmanuel III. Δημιουργήθηκε από τον Pietro Piffetti, έναν από τους κορυφαίους επιλοποιούς του 18ου αιώνα. Η ξύλινη επένδυση της αίθουσας της βιβλιοθήκης συμπληρωνόταν από ένα επιτοίχιο τραπέζι από χελωνόδερμα και ελεφαντόδοντο, δύο πτυελοδοχεία από καρυδιά και έξι σκαμπό. Είναι φτιαγμένη από ξύλο λεύκας σε συνδυασμό με διάφορα άλλα είδη ξύλου όπως τριανταφυλλιά, ελιά, πυξάρι και πουρνάρι ενώ το σύνολο κοσμείται με κομψά ένθετα από ελεφαντόδοντο. Η βιβλιοθήκη μεταφέρθηκε στη Ρώμη το 1876. Η αρχική της μορφή αποτελούνταν από ένα ψηλό βάθρο και ράφια για τα

βιβλία, ενώ μετά τη μεταφορά της στη Ρώμη προστέθηκαν το ξύλινο δάπεδο και η οροφή (εικόνα 36).

Εικόνα 36 Η βιβλιοθήκη Piffetti το 1879 (πηγή: O. Roux, La prima Regina d'Italia, Milan 1901)

Για τη σωστότερη ψηφιακή αποτύπωση του χώρου δοκιμάστηκαν διαφορετικές διαμορφώσεις φωτός και διάφορα εργαλεία για την επαλήθευση της ποιότητας των αποκτηθέντων δεδομένων.

Πρόέκυψαν επίσης αρκετές δυσκολίες που είχαν να κάνουν με το χαμηλό επίπεδο φωτισμού, αλλά και της ποικιλίας και της γεωμετρικής πολυπλοκότητας των υλικών και της επιφάνειας του αντικειμένου. Από γεωμετρική άποψη, οι επιφάνειες του αντικειμένου εναλλάσσονταν σε πολύ κανονικές, αιχμηρές περιοχές (ράφια) και μεταβατικές περιοχές μεταξύ πλευρών ή συνδέσεων τοίχων, με επιφάνειες ελεύθερης μορφής που περιλάμβαναν σύνθετα γλυπτικά ένθετα. Κάθε επιφάνεια διέθετε ποικιλία υλικών και φινίρισμα του ξύλου σε διαφορετικά χρώματα. Για το θέμα του φωτός χρησιμοποιήθηκε ένα θωρακισμένο σύστημα φωτογραφικού φωτισμού για τη μείωση των συνιστώσεων φωτός και η **τρισδιάστατη αποτύπωση** έγινε αρχικά με τον σαρωτή Laser Focus 3D (Faro) και έπειτα **φωτογραμμετρικά** (εικόνα 37), με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή 6D Mark II (Canon). Λόγω των προβλημάτων του σωστού φωτισμού στις διαφορετικές

Εικόνα 37 Φωτογραμμετρική απόδοση των θέσεων της φωτογραφικής μηχανής με κάθετες και οριζόντιες γραμμές βάσης και επικάλυψη εικόνας (overlapping) (Russo et al, 2023)

επιφάνειες, καλύτερη μεθοδολογία αποδείχθηκε η φωτογραμμετρία, αποτυπώνοντας ορθά τα χρώματα και τις υφές των επιφανειών. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η παρουσίαση της βιβλιοθήκης **ορθοφωτογραφικά** (εικόνα 38). Στόχος της συγκεκριμένης έρευνας ήταν να διερευνηθεί αν θα μπορούσε να λειτουργήσει ως ένα πρωτόκολλο σε παρόμοιες περιπτώσεις με κοινά προβλήματα.

Εικόνα 38 Φωτογραμμετρική ορθο-εικόνα με επικαλυπτόμενο μετρικό πλέγμα (Russo et al, 2023)

3. Μέθοδοι και υλικά

Η ανασκόπηση στις τεχνολογίες ψηφιακής απεικόνισης που έχουν εφαρμοστεί σε μελέτες περιπτώσεων κατέδειξε ως πλέον κατάλληλες για το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα εργασία δύο μεθόδους, την φωτογραμμετρία και το 3D scanning. Η επιλογή μεταξύ των δύο μεθόδων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η φύση του αντικειμένου, το επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας, οι περιορισμοί του προϋπολογισμού και των χρονικών ορίων.

Κύριοι παράγοντες που συνέβαλαν στην επιλογή της φωτογραμμετρίας ως μέθοδο της ψηφιακής απεικόνισης ήταν αρχικά τα χρονικά όρια και ο περιορισμένος προϋπολογισμός σε σχέση με την αποτελεσματικότητα.

Με την φωτογραμμετρία το κόστος μπορεί να είναι πολύ χαμηλό, καθώς βασίζεται σε τυπικές κάμερες παρά σε εξειδικευμένο εξοπλισμό 3D scanning, τον οποίο δεν διαθέτε το τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων τέχνης του ΠΑΔΑ. Επιπλέον, λόγω της φύσης του αντικειμένου και των υλικών από τα οποία αποτελείται (μεταλλική επιφάνεια, αντανάκλαση λόγω υγρής επιφάνειας), η φωτογραμμετρία είναι η κατάλληλη μέθοδος ακριβούς αποτύπωσης των λεπτομερειών (υφή, μικρές ρωγμές) και του χρώματος του αντικειμένου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη λήψη υψηλής ανάλυσης φωτογραφιών, κάτι που στο 3D scanning δεν είναι πάντα εφικτό.

3.1. Επιλογή μεθόδου

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι στη φωτογραμμετρία για τη λήψη των φωτογραφιών (Cohrs et al, 2021). Πρώτη μέθοδος είναι κάνοντας λήψεις μετακινώντας τη φωτογραφική μηχανή γύρω από το αντικείμενο και η δεύτερη, η περιστροφή του αντικειμένου, πάνω σε περιστρεφόμενη τράπεζα, κρατώντας σταθερή τη φωτογραφική μηχανή που στηρίζεται σε τρίποδο. Στην παρούσα έρευνα επιλέχθηκε η δεύτερη μέθοδος λόγω της μορφολογίας του αντικειμένου, όπου δεν ήταν δυνατόν να σταθεροποιηθεί μόνο του, παρά μόνο με την κατασκευή βάσης/νάρθηκα.

Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί πιο προσεκτική προετοιμασία και περισσότερο εξοπλισμό, αλλά επιτρέπει πολύ περισσότερο έλεγχο του φωτισμού και του περιβάλλοντος λήψης. Συγκεκριμένα, κρίθηκε απαραίτητη η επιλογή φωτογραφικής μηχανής τύπου DSLR, δύο φωτιστικές πηγές με λαμπτήρες τύπου LED, τρίποδο, περιστρεφόμενη τράπεζα και απομακρυσμένο κουμπί κλείστρου (remote shutter release) για την αποφυγή κραδασμών. Το φόντο χρειάστηκε να είναι λευκό, λόγω του σκούρου χρώματος του αντικειμένου και ικανών διαστάσεων, ώστε να επιτραπεί η λήψη του αντικειμένου τόσο από ψηλές όσο και από χαμηλές γωνίες. Χρησιμοποιήθηκαν δύο φωτιστικές πηγές, εκατέρωθεν του αντικειμένου, που στόχο είχαν την εξάλειψη έντονων σκιάσεων και αντιθέσεων. Για τους λόγους αυτούς, δημιουργήθηκε αυτοσχέδιο στούντιο φωτογράφισης σε αίθουσα του ΠΑΔΑ.

3.1.1. Τύπος φωτογραφικής μηχανής

Για τη διαδικασία λήψης των φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε η φωτογραφική μηχανή του Εργαστηρίου συντήρησης μεταλλικών αντικειμένων ΠΑΔΑ, τύπου DSLR, πλήρες καρέ 35 mm (full-frame), μοντέλο Sony ILCE-7RM3A.

Η φωτογραφική μηχανή τοποθετήθηκε σε αντιολισθητικό τρίποδο με αλφάδι Manfrotto 055, με ενσύρματο Remote Control (για την εξασφάλιση της σταθερότητας της λήψης).

Στη συνέχεια έγινε χρήση χρωματικής κλίμακας color checker X-Rite (color checker passport).

3.1.2. Φωτιστικές πηγές

Χρησιμοποιήθηκαν δύο φωτιστικές πηγές με softbox σε τρίποδο. Η κάθε φωτιστική πηγή διαθέτει από δύο λαμπτήρες φθορίου ψυχρού φωτισμού, 200 Watt.

3.1.3. Περιστρεφόμενη τράπεζα (Turntable)

Η περιστρεφόμενη τράπεζα (turntable) ονομάζεται Falcon Eyes Mini Turntable T360-A3 διάμετρος 60 cm, φορτίο 40 Kg.

3.2. Διαδικασία λήψης φωτογραφιών

Η διαδικασία λήψης των φωτογραφιών στην φωτογραμμετρία είναι το κρισιμότερο βήμα για την ορθή δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων. Αυτό επιτυγχάνεται από πολλαπλές επικαλυπτόμενες εικόνες (overlapping), συνήθως 60% επικάλυψη στην προηγούμενη εικόνα, λήψεις από διαφορετικές γωνίες και ύψη και κρατώντας σταθερές τις ρυθμίσεις της φωτογραφικής μηχανής.

Ο ορθότερος τρόπος λήψης των φωτογραφιών, για την ευκολότερη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου, θα ήταν αν το ξίφος φωτογραφιζόταν κρεμασμένο από πετονιά, ώστε να κάνει το ίδιο περιστροφή γύρω από τον εαυτό του, κάτι που στην παρούσα περίπτωση δεν κατέστη δυνατό λόγω της ευαισθησίας και της κακής κατάστασης διατήρησης του αντικειμένου. Έτσι αποφασίστηκε να φωτογραφηθεί κάθε ακμή και πλευρά του ξίφους ξεχωριστά, όταν αυτό ήταν σταθεροποιημένο σε ειδικά διαμορφωμένη βάση (νάρθηκα).

Για την σταθεροποίηση του ξίφους λήφθηκε υπόψη ότι το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να καλύπτει όσο το δυνατόν λιγότερο το αντικείμενο, αλλά ταυτόχρονα να το υποστηρίζει. Έτσι, για τις λήψεις των δύο πλευρών του ξίφους κατασκευάστηκε βάση από αφρό πολυαιθυλενίου (ethafoam) 5cm πάχους, κόβοντάς το περιμετρικά του ξίφους, ώστε να υπάρχει όσο γίνεται λιγότερη οπτική πληροφορία (εικόνα 39). Για τις λήψεις των ακμών, κόπηκαν τρεις κύβοι ethafoam 5cm πάχους, με εγχοπές στο μέσο τους, ώστε να σταθεροποιούν το ξίφος και να αποφευχθούν καταπονήσεις λόγω βάρους, επιμερίζοντας το βάρος του ξίφους σε τρία σημεία (εικόνα 40).

Εικόνα 39 Κοπή ethafoam περιμετρικά του ξίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 40 Κοπή τριών κύβων για την στερέωση του ξίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Η διαδικασία λήψης των φωτογραφιών πραγματοποιήθηκε μετακινώντας περίπου 5cm την περιστρεφόμενη τράπεζα σε κάθε λήψη, συμπληρώνοντας έτσι έναν κύκλο 360^ο μοιρών. Προτού αρχίσει η διαδικασία λήψης και περιστροφής, έγινε λήψη μιας φωτογραφίας με το color checker passport της φωτογραφικής μηχανής, για τη μετέπειτα διόρθωση των χρωμάτων κατά την επεξεργασία των φωτογραφιών (εικόνα 41).

Εικόνα 41 Λήψη φωτογραφίας με το Color checker passport ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 42 Δείγματα λήψεων κατά την περιστροφή ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε για κάθε πλευρά και ακμή του ξίφους, καθώς και σε δεύτερο ύψος για κοντινές λήψεις, αποτυπώνοντας τις λεπτομέρειες και τις υφές του.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά έξι κύκλοι λήψεων στο Α' (770 λήψεις) και στο Β' τμήμα του ξίφους (770 λήψεις).

Η φωτογράφιση του Α' τμήματος πραγματοποιήθηκε στις 17/3/2023 και του Β' τμήματος στις 21/3/2023.

Εικόνα 43 Σχεδιαστική αναπαράσταση λήψεων περιστροφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

3.2.1. Προδιαγραφές / Ρυθμίσεις φωτογραφικής μηχανής

Ρυθμίσεις με βάση τον περιβάλλοντα χώρο λήψης:

A' τμήμα ξίφους:

Aperture: f/20

Shutter: 1/4s

ISO: 250

Focal length: 24.00 mm

B' τμήμα ξίφους:

Aperture: f/20

Shutter: 1/3s

ISO: 250

Focal length: 18.00 mm

3.2.2. Θέση φωτογραφικής μηχανής, αντικειμένου, περιστρεφόμενης τράπεζας και φωτιστικών πηγών

Η βάση με το ξίφος τοποθετήθηκαν στην περιστρεφόμενη τράπεζα στο μέσο ενός εδράνου, ύψους περίπου 60cm. Οι φωτιστικές πηγές τοποθετήθηκαν εκατέρωθεν του εδράνου, σε απόσταση περίπου 1m και ύψος 1,5m. Η φωτογραφική μηχανή τοποθετήθηκε στο μέσο της μεγάλης πλευράς του εδράνου σε τρίποδο, σε ύψος, αρχικά 1,3m και σε μοίρες 60^ο-90^ο (σχέση ξίφους και φακού), ώστε το σημείο λήψης να είναι όσο το δυνατόν παράλληλο με το ξίφος και έπειτα σε ύψος 0,90m και σε μοίρες 20^ο-30^ο, ώστε να ληφθούν και λεπτομέρειες της κάθε ακμής (εικόνα 44, 45).

Εικόνα 44 Στούντιο φωτογράφισης σε αίθουσα του ΠΑΔΑ ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

3.2.3. Σχεδιαστική αναπαράσταση στούντιο

Εικόνα 45 Σχεδιαστική αναπαράσταση στούντιο με τις δύο διαφορετικές γωνίες λήψεων ©Παπουτσάκη Ρόζα

3.3. Επεξεργασία φωτογραφιών

Για την καλύτερη δυνατή απεικόνιση και την ανάδειξη των αληθινών χρωμάτων του αντικειμένου, κρίθηκε απαραίτητη η μετατροπή όλων των φωτογραφιών στο ίδιο προφίλ χρώματος, μέσω των εξής λογισμικών προγραμμάτων: Adobe DNG Converter, ColorChecker Camera Calibration και RawTherapee 5.9.

3.3.1. Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Adobe DNG Converter της εταιρείας Adobe Inc

Το DNG (Digital Negative) Converter είναι δωρεάν λογισμικό που μετατρέπει αρχεία raw από μεγάλο εύρος φωτογραφικών μηχανών σε μια μορφή ανοιχτού προτύπου Digital Negative. Οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές διαφορετικών κατασκευαστών χρησιμοποιούν συχνά τις δικές τους ιδιόκτητες μορφές raw εικόνων, οι οποίες μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Το Adobe DNG Converter επιτρέπει στους χρήστες να μετατρέψουν αυτά τα raw αρχεία σε μια τυποποιημένη μορφή DNG που μπορεί να αρχειοθετηθούν, επεξεργαστούν και να γίνει ευκολότερη η πρόσβαση σε αυτά ως ένα ενιαίο σύνολο.

ColorChecker Camera Calibration της εταιρείας X-Rite, Inc.

Το ColorChecker Camera Calibration χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση των αληθινών χρωμάτων (calibrate true colors) των φωτογραφιών ώστε να επιτευχθεί ακριβής και συνεπής αναπαραγωγή των χρωμάτων. Χρησιμοποιώντας τα αρχεία DNG raw, μετά την μετατροπή σε αληθινά χρώματα, δημιουργείται το νέο χρωματικό προφίλ (color profile/.dcp).

RawTherapee 5.9 της GNU General Public License Version 3

Το RawTherapee είναι λογισμικό μη καταστρεπτικής επεξεργασίας raw αρχεία εικόνων που διατίθεται δωρεάν. Η επεξεργασία που γίνεται από τον χρήστη έχει αντίκτυπο σε μια εικόνα προεπισκόπησης και όχι στο ανοιχτό raw αρχείο, παρά μόνο κατά την εξαγωγή αυτών. Διευκολύνει επίσης τον χειρισμό μεγάλου αριθμού εικόνων και την ροή εργασίας, καθώς μπορεί να γίνει μαζική επεξεργασία και εξαγωγή σε άλλους τύπους αρχείων.

3.3.2. Πορεία επεξεργασίας φωτογραφιών

Η διαδικασία επεξεργασίας των φωτογραφιών χωρίστηκε σε τρία στάδια.

1^ο στάδιο: Κατηγοριοποίηση φωτογραφιών σε φακέλους.

Οι φωτογραφίες κατηγοριοποιήθηκαν σε φακέλους με βάση την κάθε πλευρά του ξίφους. Στην παρούσα περίπτωση, δύο φακέλοι για κάθε πλευρά και δύο για κάθε ακμή του ξίφους, τόσο στο Α' τμήμα, όσο και στο Β' τμήμα, όπου στο Α' τμήμα κατηγοριοποιήθηκαν και δύο ακόμα φακέλοι με κοντινές λήψεις της κάθε πλευράς του. Όπως στο γενικό φάκελο του ξίφους, έτσι και σε κάθε υποφάκελο, αποθηκεύτηκε η φωτογραφία με το Color checker passport.

Εικόνα 46 Κατηγοριοποίηση λήψεων σε φακέλους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

2^ο στάδιο: Δημιουργία προφίλ χρώματος (color profile).

Στο λογισμικό DNG Converter, εισήχθη η φωτογραφία με το Color checker passport της φωτογραφικής μηχανής του Α' τμήματος του ξίφους για να γίνει η μετατροπή της και να εξαχθεί από αρχείο .raw σε .dng.

Στη συνέχεια, στο λογισμικό ColorChecker Camera Calibration, εισήχθη η εικόνα του Color checker passport του μετατρεμμένου αρχείου .dng. Το λογισμικό δημιούργησε αυτόματα κάποιες οριοθετημένες περιοχές πάνω στα χρώματα του Color checker passport. Αφού κατανεμήθηκαν σωστά οι οριοθετημένες περιοχές, ώστε να είναι περίπου στο κέντρο όλων των χρωμάτων, έγινε η δημιουργία νέου προφίλ (create profile). Το αρχείο του νέου προφίλ χρωμάτων .dcp (digital color profile) αποθηκεύτηκε στον γενικό φάκελο του Α' τμήματος του ξίφους.

Εικόνα 47 Δημιουργία color profile οριοθετώντας τα σημεία ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

3^ο στάδιο: Εφαρμογή προφίλ χρώματος σε κάθε φωτογραφία.

Στο λογισμικό RawTherapee, εισήχθησαν κάθε ένας υποφακέλος ξεχωριστά, ώστε να γίνει η διόρθωση των χρωμάτων των φωτογραφιών (calibrate), μέσω του αρχείου .dcp.

Συγκεκριμένα βήματα που ακολουθήθηκαν για όλους τους υποφακέλους ξεχωριστά:

Εισαγωγή υποφακέλου / επιλογή αρχείου .dng

1) Editor / processing profiles / color management / custom / επιλογή αρχείου .dcp

Εικόνα 48 Επιλογή αρχείου .dcp ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

2) Processing profiles / white balance / pick το τρίτο εικονίδιο της δεξιάς στήλης των λευκών χρωμάτων του color checker passport

Εικόνα 49 Ρύθμιση του white balance ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

3) File browser / δεξί κλικ στην φωτογραφία του color checker passport / processing profile operations / copy / select all / paste / put to queue

Εικόνα 50 Ομαδική εφαρμογή προφίλ χρώματος ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

4) Επιλογή Queue / save to folder / δημιουργία φακέλου με τις μετατρεπόμενες φωτογραφίες, π.χ. converted_ / file format / TIFF (8-bit) / start queue

Εικόνα 51 Μετατροπή εικόνων σε TIFF ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

4. Ψηφιακή τρισδιάστατη αποκατάσταση

Η διαδικασία της ψηφιακής αποκατάστασης περιλαμβάνει τη χρήση λογισμικού για την εύρεση και αντιστοίχιση χαρακτηριστικών εικόνας, την κατασκευή ενός γεωμετρικού πλέγματος και την εφαρμογή υφής στο πλέγμα. Για την παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε το RealityCapture της εταιρείας Epic Games, Inc..

Το RealityCapture είναι λογισμικό φωτογραμμετρίας που δημιουργεί τρισδιάστατα μοντέλα (3D) από φωτογραφίες (επίγειες/εναέριες) ή σαρώσεις laser (laser scanning). Χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον από τα πεδία της πολιτιστικής κληρονομιάς (αρχαιολογία, αρχιτεκτονική, τέχνες), τοπογραφίας, ηλεκτρονικών παιχνιδιών, οπτικών εφέ (VFX), εικονικής πραγματικότητας (VR), 3D printing, χαρτογράφησης κ.α..

4.1. Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου

Έπειτα από την διαδικασία λήψης των φωτογραφιών και την επεξεργασία τους οι φωτογραφίες εισήχθησαν στο λογισμικό RealityCapture. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η δημιουργία (αυτοματοποιημένα) масκών κάθε φωτογραφίας του αντικειμένου. Η δημιουργία масκών βοηθά για λήψεις από πολλαπλά μέρη (σετ φωτογραφιών) του αντικειμένου, όπως επίσης στην αυτόματη εξάλειψη του φόντου του περιβάλλοντα χώρου.

4.1.1. Πορεία δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου του Α' τμήματος του ξίφους

- 1) *Εισαγωγή και ευθυγράμμιση (align) του 1ου σετ φωτογραφιών*

Εικόνα 52 Ευθυγράμμιση των εικόνων (align) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

2) Προεπισκόπηση ανακατασκευής πλέγματος (*preview mesh reconstruction*) από το 1ο σετ

Εικόνα 53 Κατά τη διαδικασία της ανακατασκευής του πλέγματος ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 54 Το μοντέλο μετά τη διαδικασία ανακατασκευής πλέγματος ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 55 Εξάλειψη περιττών τριγώνων πλέγματος με την επιλογή “Filter selection” ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

3) Εξαγωγή μάσκας για το 1ο σετ φωτογραφιών

Reconstruction tab/ Export/ Depth and Mask στον φάκελο με το ίδιο όνομα της φωτογραφίας.

Εικόνα 56 Εξαγωγή μασκών και αποθήκευση στον ίδιο φάκελο με τις αρχικές φωτογραφίες ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 57 Η αρχική φωτογραφία (αριστερά) και η μάσκα της (δεξιά) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

4) *Επανάληψη διαδικασίας για κάθε σετ φωτογραφιών.*

Σε κάθε σετ φωτογραφιών πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία. Σύνολο 6 σετ φωτογραφιών για το Α' τμήμα και 6 σετ φωτογραφιών για το Β' τμήμα του ξίφους.

5) *Δημιουργία νέου έργου (new project) με όλες τις φωτογραφίες και τις μάσκες*

Εικόνα 58 Εισαγωγή όλων των σετ φωτογραφιών με τις αντίστοιχες μάσκες του στο λογισμικό ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

6) *Ευθυγράμμιση (Align)*

7) *Ρύθμιση του επιπέδου γείωσης (ground plane) και της περιοχής ανακατασκευής (reconstruction region)*

Εικόνα 59 Το επίπεδο γείωσης πριν τη ρύθμιση ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 60 Το επίπεδο γείωσης μετά την ρύθμιση ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

8) Ανακατασκευή πλέγματος και υφή (*mesh reconstruction and texturing*)

Εικόνα 61 Ανακατασκευή πλέγματος Α' πλευράς (*mesh reconstruction / normal detail*) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 62 Ανακατασκευή πλέγματος Β' πλευράς (*mesh reconstruction / normal detail*) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Για την απεικόνιση της υφής οι τελικές ρυθμίσεις ήταν:

Unwrap settings / Style > Fix texel size (για την καλύτερη ποιότητα απεικόνισης της υφής) / Large triangle removal threshold > 10.000 / Unwrap / Texture

Εικόνα 63 Οι ρυθμίσεις του *unwrap settings* ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 64 Τελική τρισδιάστατη απεικόνιση της Α' πλευράς του Α' τμήματος του ζίφους 18 μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 65 Τελική τρισδιάστατη απεικόνιση της Β' πλευράς του Α' τμήματος του ζίφους 18 μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 66 Λεπτομέρειες της Β' πλευράς του Α' τμήματος του ζίφους, μετά την απόδοση της υφής
©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 67 Λεπτομέρειες της Α' πλευράς του Α' τμήματος του ζίφους, μετά την απόδοση της υφής
©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

9) Εξαγωγή μοντέλου πλέγματος σε .obj και .ply

Πραγματοποιήθηκε εξαγωγή του μοντέλου πλέγματος για την μετέπειτα χρήση του στο λογισμικό Meshlab και την ένωση των δύο τμημάτων του ξίφους.

4.2.2. Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του Β' τμήματος του ξίφους

Κατά την επεξεργασία της δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου για το Β' τμήμα του ξίφους, η πρόοδος έφτασε έως το 5^ο βήμα επιτυχώς. Κατά το 6^ο βήμα, το λογισμικό δημιούργησε τέσσερα διαφορετικά components, δηλαδή τέσσερις διαφορετικές ομάδες εικόνων ευθυγραμμισμένες μεταξύ τους (εικόνα 70). Επόμενο βήμα ήταν να ενωθούν (merge components) με την διαδικασία των σημείων ελέγχου (control point) και στη συνέχεια η ανακατασκευή του πλέγματος και της υφής. Τα σημεία ελέγχου, χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση της εκτιμώμενης θέσης της κάμερας, της γεωαναφοράς ή της ρύθμισης της κλίμακας ενός μοντέλου και τη σύνδεση ομάδων εικόνων μεταξύ τους. Μετά από πολλές προσπάθειες και στο λογισμικό RealityCapture, αλλά και στο MeshLab, δεν κατέστη δυνατή η άρτια ένωση των ευθυγραμμισμένων ομάδων εικόνων, όπου θα έβγαζε το επιθυμητό αποτέλεσμα, όπως συνέβη με το Α' τμήμα του ξίφους (εικόνες 68, 69). Ο σημαντικότερος παράγοντας που έπαιξε ρόλο στη μη συγχώνευση των ευθυγραμμισμένων ομάδων εικόνων, από τα λογισμικά θεωρήθηκε ότι ήταν η φύση της επιφάνειας του αντικειμένου.

Έτσι, λόγω αυτού και των περιορισμένων χρονικών ορίων, αποφασίστηκε η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου σε δύο εκ των τεσσάρων ομάδων ευθυγραμμισμένων εικόνων, για λόγους παρουσίασης των ενωμένων τμημάτων του ξίφους. Επιλέχθηκαν οι ομάδες που αφορούσαν την Α' και την Β' πλευράς του ξίφους. Αυτό υστερούσε ποιοτικά, καθώς δεν ήταν ολοκληρωμένο και ενωμένο ως ένα σύνολο, αλλά βοήθησε στην οπτικοποίηση της ένωσης των δύο τμημάτων του ξίφους (εικόνα 71).

Εικόνα 68 Λανθασμένη συγχώνευση ομάδων ευθυγραμμισμένων εικόνων στο λογισμικό RealityCapture
©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 69 Λανθασμένη συγχώνευση ομάδων ευθυγραμμισμένων εικόνων στο λογισμικό Meshlab
©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 70 Οι τέσσερις ευθυγραμμισμένες ομάδες εικόνων (components) και η δημιουργία των σημείων ελέγχου (control points) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 71 Η Α' πλευρά του Β' τμήματος του ζίφους 18 μετά την ευθυγράμμιση όλων των σετ φωτογραφιών με τις μάσκες τους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Ακολουθήθηκαν κανονικά τα βήματα που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 4.1.1.

Εικόνα 72 Επιλογή ομάδας ευθυγραμμισμένων εικόνων με τις περισσότερες εικόνες *A'* πλευράς ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 73 Ρύθμιση του επιπέδου γείωσης (*ground plane*) και της περιοχής ανακατασκευής (*reconstruction region*) *A'* πλευράς ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 74 Ανακατασκευή πλέγματος A' πλευράς (mesh reconstruction / normal detail) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 75 Τελική τρισδιάστατη απεικόνιση της A' πλευράς του B' τμήματος του ξίφους 18 μετά την απόδοση της υφής
©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 76 Λεπτομέρειες της Α' πλευράς του Β' τμήματος του ζίφους, μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 77 Η Β' πλευρά του του Β' τμήματος του ξίφους, μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Στην εικόνα 76, η απεικόνιση της υφής, στην Α' πλευρά του ξίφους έχει αποδοθεί σε πολύ καλό επίπεδο, ενώ στην Β' πλευρά (εικόνα 77) δεν έχει αποδοθεί καθόλου, δημιουργώντας έτσι κενό στο πλέγμα. Αυτό συνέβη λόγω του ότι επιλέχθηκε μόνο μία εκ των τεσσάρων ομάδων ευθυγράμμισης εικόνων, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Εικόνα 78 Ανακατασκευή πλέγματος B' πλευράς (mesh reconstruction / normal detail) ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

*Εικόνα 79 Τελική τρισδιάστατη απεικόνιση της B' πλευράς του B' τμήματος του ζίφους 18 μετά την απόδοση της υφής
©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ*

Εικόνα 80 Λεπτομέρειες της Β' πλευράς του Β' τμήματος του ξίφους, μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 81 Η Α' πλευρά του του Β' τμήματος του ζίφους, μετά την απόδοση της υφής ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Στην εικόνα 80, η απεικόνιση της υφής, στην Β' πλευρά του ζίφους έχει αποδοθεί σε πολύ καλό επίπεδο, ενώ στην Α' πλευρά (εικόνα 81) δεν έχει αποδοθεί καθόλου, δημιουργώντας έτσι κενό στο πλέγμα. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω με το αντίστοιχο σετ ομάδων ευθυγραμμισμένων εικόνων που επιλέχθηκε ως κάθε ξεχωριστή περίπτωση.

4.2. Ένωση των δύο μερών του ξίφους

Έπειτα από την διαδικασία δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου στο λογισμικό RealityCapture, εισήχθησαν στο λογισμικό Meshlab τα αρχεία τύπου .ply των δύο τμημάτων του ξίφους ώστε να πραγματοποιηθεί η ένωσή τους.

Το MeshLab είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα που διατίθεται δωρεάν για την επεξεργασία τρισδιάστατων μοντέλων πλέγματος. Παρέχει ένα σύνολο εργαλείων όπως, επεξεργασία, καθαρισμός, διαμόρφωση, εφαρμογή υφής, καθορισμός διαστάσεων του πλέγματος. Προσφέρει επίσης την επεξεργασία ακατέργαστων δεδομένων και προετοιμάζει τα μοντέλα για τρισδιάστατη εκτύπωση. Χρησιμοποιείται σε διάφορα ακαδημαϊκά και ερευνητικά πεδία, όπως μικροβιολογία, πολιτιστική κληρονομιά, ανακατασκευή επιφανειών, παλαιοντολογία, για γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων στην ορθοπεδική χειρουργική, στην ορθοδοντική, και κατασκευή επιτραπέζιων υπολογιστών. Αναπτύχθηκε από το ερευνητικό κέντρο ISTI - CNR. Το MeshLab δημιουργήθηκε λογισμικό στο Πανεπιστήμιο της Πίζας στα τέλη του 2005.

4.2.1. Πορεία ένωσης των δύο τμημάτων του ξίφους

1) Εισαγωγή του αρχείου .ply στο λογισμικό (για το Α' και Β' τμήμα ξεχωριστά)

Εικόνα 82 Εισαγωγή αρχείου .ply του τρισδιάστατου μοντέλου στο λογισμικό Meshlab ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

2) Ρύθμιση κλίμακας μοντέλου στα πραγματικά του μέτρα

Για την ακριβή απόδοση των πραγματικών διαστάσεων του μοντέλου, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω ρυθμίσεις:

Αρχικά με το εργαλείο μέτρησης μετρήθηκε το μήκος του τρισδιάστατου μοντέλου.

Εικόνα 83 Ρυθμίσεις πραγματικού μήκους με το εργαλείο της μεζούρας ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Έπειτα, γνωρίζοντας το πραγματικό μήκος του ξίφους, έγινε η διαίρεση:
πραγματικό μήκος ξίφους / μήκος τρισδιάστατου μοντέλου = συντελεστής μεγέθυνσης
ή σμίκρυνσης
π.χ. για το Α' τμήμα του ξίφους: $60/42.4 \text{ cm} = 1413$
και για το Β' τμήμα του ξίφους: $54/26.6 \text{ cm} = 2030$

Εικόνα 84 Βήματα για την εμφάνιση του παραθύρου ρύθμισης μεγεθών ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 85 Παράθυρο ρύθμισης μήκους/μεγέθους του A' τμήματος του ξίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Όπου τα βήματα ήταν τα εξής:

Filters / Normal curvatures and orientation / Transform: scale, normalize / x axis-> το αποτέλεσμα των διαιρεμένων μηκών / apply

3) Εξαγωγή / export mesh σε αρχείο .ply

Εικόνα 86 Εξαγωγή του μοντέλου σε αρχείο .ply στο πραγματικό του μήκος ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

4) Εισαγωγή των δύο αρχείων .ply στο λογισμικό Meshlab, σε νέα εργασία, για να πραγματοποιηθεί η ένωση

Εικόνα 87 Τα μοντέλα των τμημάτων του ξίφους όπως εισήχθησαν στο λογισμικό Meshlab ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΛΛΑ

5) Ρύθμιση της θέσης των μοντέλων

Με την εντολή Manipulator (εικόνα 87) τα μοντέλα μετακινούνται και περιστρέφονται κατά τους άξονες x,y,z ώστε να τοποθετηθούν σύμφωνα με την αρχική μορφή του ξίφους 18.

Εικόνα 88 Η ορθή τοποθέτηση των μοντέλων σύμφωνα με την αρχική μορφή του ξίφους 18 ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΛΛΑ

Εικόνα 89 Η εντολή manipulator ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 90 Τελικό αποτέλεσμα της ένωσης της Α' πλευράς των δύο τμημάτων του ζίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 91 Τελικό αποτέλεσμα της ένωσης της Β' πλευράς των δύο τμημάτων του ζίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 92 Όψεις της Α' πλευράς του ξίφους από διαφορετικές γωνίες ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 93 Λεπτομέρειες απόδοσης της υφής στην Β' πλευρά του ζίφους 18 ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

Εικόνα 94 Τελικό αποτέλεσμα της ένωσης της Α' πλευράς των δύο τμημάτων του ζίφους ©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ

*Εικόνα 95 Τελικό αποτέλεσμα της ένωσης της Β' πλευράς των δύο τμημάτων του ζίφους
©Παπουτσάκη Ρόζα, ΠΑΔΑ*

5. Συζήτηση

Το ξίφος 18, ως σύνθετο ευαίσθητο αντικείμενο, χρήζει ιδιαίτερης μεταχείρισης. Ως εκ τούτου αντιμετωπίστηκαν μικρότερα ή μεγαλύτερα προβλήματα ως προς τη τρισδιάστατη ψηφιοποίησή του, που αφορούσαν από το πως θα τοποθετηθεί ορθότερα το ξίφος κατά τη διαδικασία της φωτογράφισης, μέχρι την επιτυχή συγχώνευση των φωτογραφιών σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο.

Στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση του Α' τμήματος του ξίφους τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά. Οι λεπτομέρειες, οι φθορές, οι ρωγμές και οι χρωματικές αλλαγές ήταν εξαιρετικά εμφανείς, όπως επίσης και η απόδοση της υφής.

Στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση του Β' τμήματος του ξίφους τα αποτελέσματα δεν ήταν τα αναμενόμενα, όπως με του Α' τμήματος, λόγω της αδυναμίας του λογισμικού να συγχωνεύσει τα σετ των ευθυγραμμισμένων εικόνων. Ο σημαντικότερος παράγοντας που έπαιξε ρόλο στη μη συγχώνευση των ευθυγραμμισμένων ομάδων εικόνων θεωρήθηκε ότι ήταν η ίδια η φύση του αντικειμένου. Συγκεκριμένα, η επιφανειακή του πολυπλοκότητα, η έλλειψη χαρακτηριστικών στοιχείων, η υφή και η ανακλαστικότητα του. Το αντικείμενο φέρει στην επιφάνειά του προϊόντα διάβρωσης σιδήρου, δημιουργώντας έτσι ενιαίο χρώμα και υφή, χωρίς υψηλή χρωματική αντίθεση, με αποτέλεσμα το λογισμικό να αδυνατεί να επεξεργαστεί και να αναγνωρίσει τα διαφορετικά σημεία μεταξύ τους. Επίσης, η υψηλή ανακλαστικότητα (γυαλάδα) του αντικειμένου, λόγω του ότι το αντικείμενο ήταν υγρό, έκανε ακόμα πιο δύσκολη την εύρεση κοινών σημείων συγχώνευσης. Παρόμοιο πρόβλημα αντιμετωπίστηκε και στην μελέτη περίπτωσης για την Βιβλιοθήκη Piffetti που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2.3.4. Λόγω των διαφορετικών υφών, της ανακλαστικότητας διαφόρων αντικειμένων, της γεωμετρικής πολυπλοκότητας και των συνθηκών φωτισμού, η συγχώνευση των νέφων σημείων (point clouds) κατέστη αρκετά δύσκολη. Η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών αντιμετωπίστηκε με τον προσεκτικό σχεδιασμό του φωτισμού και της μεθοδολογίας της ψηφιακής απεικόνισης που ακολουθήθηκε. Στην συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης εφαρμόστηκαν τρεις μέθοδοι ψηφιακής απεικόνισης, 3d scanning, φωτογραμμετρία (που αναδείχθηκε η πλέον κατάλληλη) και η ορθοφωτογραφία.

Άλλος παράγοντας που έπαιξε ρόλο στην αδυναμία συγχώνευσης των ευθυγραμμισμένων εικόνων θεωρήθηκε ότι ήταν ο τρόπος λήψης των φωτογραφιών εξαιτίας της ευαισθησίας του αντικειμένου. Δηλαδή, φωτογραφίζοντας το ξίφος από κάθε πλευρά και ακμή ξεχωριστά (σύνολο 6 σετ λήψεων φωτογραφιών) σε συνδυασμό με την επιφανειακή του πολυπλοκότητα που αναφέρθηκε παραπάνω, έκανε ακόμα πιο δύσκολη τη διαδικασία συγχώνευσης από το λογισμικό. Θεωρητικά, εάν το ξίφος βρισκόταν σε καλή κατάσταση διατήρησης και φωτογραφίζονταν αναρτημένο από πετονιά κάνοντας περιστροφή γύρω από τον εαυτό του (δηλαδή σε σύνολο 2 σετ λήψεων φωτογραφιών), η τρισδιάστατη μοντελοποίησή του πιθανόν να ήταν επιτυχής. Αυτό συμπεραίνεται και από την μελέτη περίπτωσης για το Ναυάγιο Τυρο, που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2.3.2., το οποίο αντιμετώπισε παρόμοιες παραμέτρους όπως, η ενιαία χρωματική επιφάνεια και το γεγονός ότι ήταν ενάλιο αντικείμενο. Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης η διαδικασία λήψης και η μετέπειτα συγχώνευση των νέφων σημείων πραγματοποιήθηκε επιτυχώς, θεωρητικά λόγω του ότι το αντικείμενο ήταν σταθερό στο βυθό και η διαδικασία λήψης των φωτογραφιών πραγματοποιήθηκε περιμετρικά του αντικειμένου. Έτσι και στην παρούσα περίπτωση του ξίφους 18, η τρισδιάστατη μοντελοποίηση, για λόγους παρουσίασης, του ενός εκ των τεσσάρων σετ ευθυγραμμισμένων εικόνων είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Τέλος, δεν υπήρχε οργανωμένο εργαστήριο, με τον κατάλληλο εξοπλισμό (ηλεκτρονικός υπολογιστής υψηλών απαιτήσεων), κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του τρισδιάστατου μοντέλου για τη συντονισμένη συνεργασία των ερευνητών και ως εκ τούτου, η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε από συμβατικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, γεγονός που έκανε τη διαδικασία αρκετά χρονοβόρα.

6. Συμπεράσματα

Μέσω της παρούσας πτυχιακής, για τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα της ψηφιοποίησης και ψηφιακής αποκατάστασης ενός αντικειμένου, τα συμπεράσματα που εξήχθησαν ήταν:

- Σημαντικό ρόλο παίζει η ποιότητα των φωτογραφιών που θα ληφθούν με τις σωστές παραμέτρους, ώστε να αναδειχθεί ορθά και ρεαλιστικά το αντικείμενο.
- Η διαδικασία λήψης του αντικειμένου σε σχέση με τη φύση του υλικού και των ιδιοτήτων του (υφή, επιφανειακή πολυπλοκότητα, ευθραυστότητα).
- Τα καταλληλότερα μέσα και εργαλεία που θα διατεθούν κατά την επεξεργασία των φωτογραφιών μέσω λογισμικού προγράμματος.
- Η συνεργασία ερευνητών από διάφορα διεπιστημονικά πεδία και η τεχνογνωσία αυτών σε σχέση με τα χρονικά όρια που απαιτεί η έρευνα.

7. Βιβλιογραφία

Ελληνική

- Αυλωνίτου Λ. (2011) *Μελέτη με φυσικοχημικές τεχνικές - XRD, μ-XRF, SEM-eds - της κεραμικής του νεολιθικού οικισμού στον Μακρύγιαλο Περίας*. ΙΚΕΕ. Available at: <https://ikee.lib.auth.gr/record/126494>.
- Δελαπόρτα, Α. (2018) *Απεικονιστική τεχνική μετασχηματισμού ανάκλασης εικόνας – RTI (Reflectance Transformation Imaging)*, Apothesis Αρχική. Available at: <https://apothesis.lib.hmu.gr/handle/20.500.12688/8579>.
- Κουμπάρου Ν. (2019), *Μελέτη συντήρησης των ενάλιων ξιφών BE2013/1506, BE2013/16 από τον εμπορικό λιμένα της Ρόδου [Πτυχιακή εργασία]*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα.
- Μπέη Α. (2019), *Μελέτη συντήρησης ενάλιων ξιφών και ξιφιδίου, από τον εμπορικό λιμένα της Ρόδου [Πτυχιακή εργασία]*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα.
- Μπούρη Π. (2022), *Αφαίρεση ιόντων χλωρίου με διάλυμα υδροξειδίου της αμμωνίας από ενάλια σύνθετα με σίδηρο αντικείμενα [Πτυχιακή εργασία]*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα.
- Μπιλάλης Ν, Μαραβελάκης Ε., (2014), *Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση*, 2^η έκδοση, Εκδόσεις Κριτική
- Παπανίκου, Α. (2019), *Αποχλωρίωση τεσσάρων ενάλιων σύνθετων αντικειμένων από κράμα σιδήρου και ξύλο, ξιφών και ξιφιδίου, [Πτυχιακή εργασία]*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα.

Ξενόγλωσση

- Baltsavias E.P., (1996), *Digital ortho-images — a powerful tool for the extraction of spatial- and geo-information*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 51, Issue 2, Pages 63-77, ISSN 0924-2716, DOI: [https://doi.org/10.1016/0924-2716\(95\)00014-3](https://doi.org/10.1016/0924-2716(95)00014-3).
- Casaletto, M.P., Ingo, G.M., Riccucci, C. et al. (2010), *Production of reference alloys for the conservation of archaeological silver-based artifacts*. Appl. Phys. A 100, 937–944, <https://doi.org/10.1007/s00339-010-5677-1>.
- Costello A., Kingsland K., Jones B. & Tanasi D. (2023) *Virtualization and 3D visualization of historical costume replicas: Accessibility, inclusivity, virtuality*. Springer, Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-37731-0_10.
- Cook, C. and Grattan, D.W., (1984), *A practical comparative study of treatments for waterlogged wood. Part III: pretreatment solutions for freeze drying*. Proc of the 2nd ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, Grenoble, France
- Corona L., (2023), *Digitization: An Overview of the Advantages and Disadvantages*. DOI: 10.5772/intechopen.1002006

- Crette S., Näsänen L., González-Pereyra N. & Rennison B. (2013) *Conservation of waterlogged archaeological corks using supercritical CO₂ and treatment monitoring using structured-light 3D scanning*. *The Journal of Supercritical Fluids*. 79. 299–313. DOI: 10.1016/j.supflu.2013.01.006.
- Douglass M., Kuhnel D., Magnani M., Hittner L., Chodoronek M. & Porter S. (2017) *Community outreach, digital heritage and private collections: a case study from the North American Great Plains*, *World Archaeology*, 49:5, 623-638, DOI:10.1080/00438243.2017.1309299.
- Geng, J. (2011), *Structured-light 3D Surface Imaging: A tutorial*, *Advances in Optics and Photonics*, 3(2), p. 128. doi:10.1364/aop.3.000128.
- Hennum-Simmonds KS., (2020) *A Study of Alternatives to Freeze-Drying*, Master's Dissertation in Objects Conservation, The University of Oslo
- Kęsik, J. et al. (2022) *A methodical approach to 3D scanning of heritage objects being under continuous display*, MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/1/441>.
- Kmošek J., Leroux M., (2016), *Restoration of an Archaeological Iron Object using 3D Technology: A Case Study*, METAL 2016, ICOM-CC
- Kotoula E, (2018), *Multi-light Imaging Highlight-Reflectance Transformation Imaging (H-RTI) for Cultural Heritage, Case Study 5: Microscopic RTI of gilded silver discs from the Derveni tombs, Macedonia, Greece*, Historic England, University of Southampton
- Lear A.C. (1997), *Digital orthophotography: mapping with pictures*, in *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 17, no. 5, pp. 12-14, DOI: 10.1109/38.610196.
- Montusiewicz, J., Miłosz, M., Kęsik, J. et al. (2021) *Structured-light 3D scanning of exhibited historical clothing—a first-ever methodical trial and its results*. *Herit Sci* 9, 74. <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00544-x>.
- Mytum, H. and Peterson, J.R. (2018) *The application of Reflectance Transformation Imaging (RTI) in historical archaeology - historical archaeology*, SpringerLink. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41636-018-0107-x>.
- North, N. A. (1987). *Conservation of metals*. *Conservation of Marine Archaeological Objects*, 207–252.
- Parikh D. M. (2014), *Solids Drying: Basics and Applications*. Available at: <https://www.chemengonline.com/solids-drying-basics-and-applications/?printmode=1>.
- Pearson, C., (1987). *Conservation of Marine Archaeological Objects*. London: Butterworths.
- Potangaroa R. (2022) *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1007 012001, DOI:10.1088/1755-1315/1007/1/012001
- Ruan G., Wernert E., Gniady T., Tuna E., Sherman W. (2018) *High Performance Photogrammetry for Academic Research*. In *Proceedings of the Practice and Experience on Advanced Research Computing (PEARC '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 45, 1–8. <https://doi.org/10.1145/3219104.3219148>.
- Russo M., Spallone R., Senatore, L., Flenghi, G. & Morozzi, L. (2023). *Integrated 3d acquisition of complex wooden artefacts: The Piffetti's library in Quirinale palace (Rome)*. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial*

Information Sciences. XLVIII-M-2-2023. 1379-1386. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1379-2023.

Singh H, Adams J., Mindell D. & Foley B. (2000) *Imaging Underwater for Archaeology*, Journal of Field Archaeology, 27:3, 319-328, DOI:<http://dx.doi.org/10.1179/jfa.2000.27.3.319>.

Ψηφιακές πηγές

Agee Kyle (2022), *How to Use a Color Checker for Perfect Color in Photos*. Διαθέσιμο στο <https://petapixel.com/how-to-use-color-checker-photography/>

Cohrs J., Boonyapanachoti M., Aneja S., Köerner W., Kim W. (2021), *Capturing Images for Photogrammetry*. Διαθέσιμο στο <https://rd.nytimes.com/projects/capturing-images-for-photogrammetry>

Cook Cliff (2019), *Preparing Silica Gel for Contained Storage of Metal Objects – Canadian Conservation Institute (CCI) Notes 9/14*. Διαθέσιμο στο <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/prep-silica-gel.html>

Epic Games, Inc. Epic Games, *Capturing Reality*. Διαθέσιμο στο <https://www.capturingreality.com/>

Heckmann Chris (2021), *What is a Color Checker Tool and How Do They Work?* Διαθέσιμο στο <https://www.studiobinder.com/blog/what-is-a-color-checker-tool/>

Holmes Mikaela, *Shooting for Photogrammetry*. Διαθέσιμο στο <https://www.instructables.com/Shooting-for-Photogrammetry/>

McLeod Miriam (2018), *Conserving the Kinghorne carpet*, Posted under: Art and Design, Behind the scenes, Global Arts, Cultures and Design, National Museum of Scotland. Διαθέσιμο στο <https://blog.nms.ac.uk/2018/06/14/conserving-the-kinghorne-carpet/>

National Archives of Washington (2016), *Comparison of Drying Methods*, Διαθέσιμο στο <https://www.archives.gov/preservation/disaster-response/drying-methods/drying-methods-05.html>

Robert Natalia (2023), *RawTherapee Review (Free Photoshop & Lightroom Alternative)*. Διαθέσιμο στο <https://expertphotography.com/rawtherapee-free-photoshop-lightroom-alternative/#:~:text=RawTherapee%20is%20a%20free%2C%20open,in%2Ddepth%20with%20color%20correction>

Schooner Typo. Διαθέσιμο στο: <https://www.shipwreckexplorers.com/schooner-typo/>

Schooner Typo 3D Interactive Model. Διαθέσιμο στο: <https://3dshipwrecks.org/shipwreck-typo/>

University of Florida (2014) *Important artifacts from the National Archives [UK] now digitized in 3D, Digital Epigraphy and Archaeology* (Πρόσβαση την 2 Σεπτεμβρίου 2023). Διαθέσιμο στο <https://research.dwi.ufl.edu/projects/digitalepigraphy.org/page/important-artifacts-from-the-national-archives-uk-now-digitized-in-3d/> .