



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Τρισδιάστατη ψηφιοποίηση σταυρών ευλογίας ή αγιασμού.  
Προβλήματα προσεγγιστικής διαδικασίας μοντελοποίησης και  
απεικονιστικές τεχνικές**



**ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΣΗΣΑΜΑΚΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ-ΓΙΩΡΓΟΣ**

**ΑΜ:18676066**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΑΚΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2024**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

**School of Applied Arts and Culture**

**Department of Conservation of Antiquities and Works of Art**

**DIPLOMA THESIS**

**3D digitization of Blessing or sanctification crosses: challenges in the approximate modeling process and imaging techniques"**



**STUDENT : SISAMAKIS MICHALIS GIORGOS**

**AM:18676066**

**SUPERVISOR: MAKRIS CH. DIMITRIOS**

**ATHENS  
JULY 2024**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Τρισδιάστατη ψηφιοποίηση σταυρών ευλογίας ή αγιασμού.  
Προβλήματα προσεγγιστικής διαδικασίας μοντελοποίησης και  
απεικονιστικές τεχνικές**

ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΣΗΣΑΜΑΚΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ-ΓΙΩΡΓΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΑΚΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή (ΔΕΠ):

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
Μακρής Δημήτριος	Επιβλέπων / Αναπληρωτής Καθηγητής	
Πούρνου Αναστασία	Μέλος / Καθηγήτρια	
Μαλέα Αικατερίνη	Μέλος / Λέκτορας Εφαρμογών	

## ΔΗΛΩΣΗ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σησαμάκης Μιχάλης-Γιώργος του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 18676066, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών & Πολιτισμού, του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν, με τον ένα ή άλλο τρόπο, στην ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Δημήτριο Μακρή, για την υποστήριξη και τη γνώση που μου μετέδωσε για την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας, καθώς και την κα. Αικατερίνη Μαλέα και την κα. Αναστασία Πούρνου για την τιμή που μου έκαναν να αποτελέσουν μέλη της τριμελούς επιτροπής.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς την Ιερά Μεγίστη Μονή Βατοπαιδίου, τον Ηγούμενο Εφραίμ τον Βατοπαιδινό και την αδελφότητα της Μονής για την παραχώρηση του χώρου εργασίας, του φωτογραφικού στούντιο, της βιβλιοθήκης και του υλικού.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ιερά Μονή Κουδουμά, τον Ηγούμενο της Ιεράς Μονής Μακάριο και την αδελφότητα της Μονής για την παραχώρηση Υλικού.

Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ιερά Μητρόπολη Ρόδου, τον Μητροπολίτη κ.κ. Κύριλλο Β', το γραμματέα της Ιεράς Μητρόπολης Ρόδου, αιδεσιμολογιώτατο π. Εμμανουήλ Σκλιβάκη, καθώς και το επικοινωνιακό και μορφωτικό ίδρυμα της Ιεράς Μητροπόλεως Ρόδου για την παροχή υλικού καθώς και των σχετικών αδειών.

Ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στην Ενορία Γεννεσίου Θεοτόκου Εληάς Πεδιάδος και τον Πρωτοπρεσβύτερο Πατέρα Γεώργιο Μπαλτζάκη για την παροχή υλικού.

Να ευχαριστήσω ακόμα τα Ιδρύματα Ανδρέα και Μαρίας Καλοκαιρινού και το Ιστορικό Μουσείο Κρήτης για την παροχή υλικού και των σχετικών αδειών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Θύμιο Αποστολάκη για τις κατευθυντήριες συμβουλές για την έρευνα που πραγματοποίησα καθώς και την υποστήριξη που μου παρείχε.

Ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον κ. Κωνσταντίνο Σεραφειμίδη για την πολύτιμη βοήθεια του στην έρευνα για βιβλιογραφικό υλικό για τους Σταυρούς.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον παππού μου, Ιερέα Μιχαήλ Σησαμάκη, για την παροχή υλικού στην ερεύνα μου, τις συμβουλές καθώς και την υποστήριξη του.

Ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στους συμφοιτητές μου και φίλους, για τη συνεργασία, τη στήριξη και τη φιλία τους καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένειά μου, και ιδιαίτερα τους γονείς μου και την αρραβωνιαστικιά μου, για την αδιάκοπη υποστήριξη, την υπομονή και την αγάπη τους, που χωρίς τη συνεχή ενθάρρυνση και τη βοήθειά τους, η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας δεν θα ήταν δυνατή.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή αυτή εργασία εξετάζει την τρισδιάστατη (3D) ψηφιοποίηση, χρησιμοποιώντας ως αντικείμενα ανάλυσης σταυρούς ευλογίας ή αγιασμού. Ερευνά τα θεωρητικά δεδομένα των τεχνικών απεικόνισης, τη συμβολή της ψηφιακής τεχνολογίας στην απεικόνιση και προβολή των έργων τέχνης, ενώ προσεγγίζει τη διαδικασία ψηφιακής μοντελοποίησης και τις τρισδιάστατες απεικονιστικές τεχνικές.

Αρχικά επιλέχθηκαν τρία αντίγραφα μικρογραφικών σταυρών αγιασμού ως στοιχεία ελέγχου, που ανήκουν στην επονομαζόμενη Α ομάδα, ενώ η ομάδα Β έχει τρεις αυθεντικούς σταυρούς ευλογίας. Κάθε σταυρός επιλέχθηκε με γνώμονα τη διαφορετικότητα του.

Γίνεται αναφορά στα ιστορικά στοιχεία, στις ιδιαίτερες τεχνικές κατασκευής, καθώς και στα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία των μικρογραφικών σταυρών. Αναφέρονται περιληπτικά οι παλαιότερες τεχνικές απεικόνισης που έχουν χρησιμοποιηθεί στην τεκμηρίωση διαφόρων έργων τέχνης. Στη συνέχεια αναφέρεται η κατάσταση διατήρησης των αντικειμένων που θα γίνουν τα ψηφιακά μοντέλα, η περιγραφή του θέματος και των υλικών κατασκευής, ενώ καταγράφονται και οι διαστάσεις τους.

Η απομακρυσμένη μελέτη και παρατήρηση ενός πολύπλοκου έργου τέχνης μικρών διαστάσεων χωρίς να ακουμπήσουμε το αυθεντικό είναι αρκετά σημαντική για την διατήρηση της πολιτισμικής κληρονομιάς. Ο τρόπος για να επιτευχθεί αυτή η προϋπόθεση είναι με την συνεισφορά των τρισδιάστατων απεικονίσεων, καθώς αυτές αποτελούν πλέον βασικό εργαλείο έρευνας, τεκμηρίωσης και καινοτομίας. Προσεγγίζεται η διαδικασία ψηφιακής μοντελοποίησης και οι τρισδιάστατες απεικονιστικές τεχνικές και γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης του μεγάλου εύρους των δυσκολιών και των ευκαιριών που αυτές παρουσιάζουν.

Βασικό ζητούμενο είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου αντιγράφου του αντικειμένου σε ψηφιακή μορφή, χρησιμοποιώντας εύκολα προσβάσιμα προγράμματα χωρίς ακριβό εξοπλισμό, που μπορούν να αποδώσουν το μοντέλο σε ικανοποιητικό βαθμό.

Τέλος παρατίθενται τα συμπεράσματα και γίνονται σχετικές προτάσεις για την παραγωγικότερη αξιοποίησή τους, και για το πως μπορούν να επιλυθούν ορισμένα προβλήματα κατά την τρισδιάστατη μοντελοποίηση.

Οι αντιπροσωπευτικές μέθοδοι που επιλέχθηκαν για τα τρισδιάστατα μοντέλα είναι η φωτογραμμετρία και τα NeRF (Neural Radiance Fields).

Η εργασία αυτή ελπίζει να συμβάλλει στις ελάχιστες ερευνητικές εργασίες που υπάρχουν, αφενός στους μικρογραφικούς σταυρούς και αφετέρου στην ψηφιακή μοντελοποίηση μικρών σε μέγεθος αντικειμένων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: σταυρός ευλογίας, σταυρός αγιασμού, ψηφιακή μοντελοποίηση, φωτογραμμετρία, NeRF, τρισδιάστατα μοντέλα, προβλήματα ψηφιακής μοντελοποίησης

# ABSTRACT

This dissertation examines three-dimensional (3D) digitization through the analysis of religious crosses used for blessing or sanctification. It investigates the theoretical data of imaging techniques, the contribution of digital technology to the visualization and presentation of works of art, while approaching the digital modeling process and 3D imaging techniques and analyzing the wide range of difficulties and opportunities these techniques present.

Initially, three replicas of miniature sanctification crosses were selected, belonging to the so-called A group, while group B includes three authentic blessing crosses. Each cross was chosen for the diversity it exhibits.

The historical data, the special handcrafting techniques as well as the materials that have been used for the creation of miniature crosses are discussed. The older techniques which have been used to document various artefacts are also briefly outlined. Then, the state of preservation of the objects that will be digitally modeled, the description of their theme and the description of the materials used, as well as their dimensions are recorded.

The remote study and observation of a complex miniature work of art is very important for the preservation of cultural heritage. The way to achieve this requirement is through the contribution of three-dimensional modeling techniques, as they currently constitute fundamental tools of research, documentation, and innovation. An analysis of the procedure of three-dimensional modeling and rendering techniques as well as the difficulties and opportunities they present is attempted.

The basic objective is the creation of a three-dimensional copy of an artefact in digital form using easily accessible software without the use of expensive equipment, which can be of a satisfactory quality.

Finally, conclusions are listed, and relevant proposals are given for their more productive use and on how some problems which may arise during three-dimensional modeling can be resolved. The most representative methods chosen for the three-dimensional modeling are photogrammetry and NeRF (neural radiation fields).

This work aims to contribute to the limited number of bibliographic citations, on the one hand, and digital modeling of small-sized objects on the other.

The basic requirement is to create a 3D copy of the object, in digital format, using easily accessible programs, without expensive equipment. The methods chosen for the 3D models are photogrammetry and NeRF.

This work aims to contribute to the very limited research works that exist regarding the aforementioned miniature crosses as well as regarding the digital modeling of small-sized artefacts.



KEY WORDS: Blessing cross, Sanctification cross, digital modeling, photogrammetry, NeRF, 3D models, digital modeling problems.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

### Περιεχόμενα

<b>ΔΗΛΩΣΗ</b> .....	<b>4</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>5</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>Περιεχόμενα</b> .....	<b>10</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Σκοπός &amp; Στόχοι</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Ιστορική αναφορά</b> .....	<b>14</b>
1.2.1 Ο σταυρός ως σύμβολο στην Ιστορία .....	14
1.2.2 Μικροτεχνία .....	19
1.2.3 Σταυροί ευλογίας .....	21
1.2.4 Σταυροί αγιασμού .....	22
1.2.5 Υλικά κατασκευής .....	25
1.2.6 Θεματολογία σταυρών .....	27
1.2.7 Ιστορική Εξέλιξη .....	28
1.2.8 Ευπάθεια των σταυρών ευλογίας και αγιασμού .....	29
<b>1.3 Τρισδιάστατη Ψηφιοποίηση</b> .....	<b>31</b>
1.3.1 Η ψηφιοποίηση στην Πολιτιστική Κληρονομιά .....	31
1.3.2 Απεικονιστικές τεχνικές και τεκμηρίωση των έργων τέχνης .....	32
1.3.3 Μέθοδοι μοντελοποίησης και τρισδιάστατης αποτύπωσης .....	33
1.3.4 Ανάλυση της διαδικασίας της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης.....	36
<b>1.4 Επιλεγμένες τεχνικές</b> .....	<b>38</b>
1.4.1 Φωτογραμμετρία .....	38
1.4.2 Ψηφιακή Φωτογραμμετρία .....	39
1.4.3 Εισαγωγή στα NeRF (Neural Radiance Fields).....	39
<b>2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	<b>44</b>
<b>2.1 Συνοπτική μεθοδολογία της εργασίας</b> .....	<b>44</b>
<b>2.2 Περιγραφή Αντικειμένων Ομάδας Α</b> .....	<b>45</b>

2.2.1. Ομάδα A: Σταυροί αγιασμού -Νεότεροι .....	45
2.2.2 Σταυρός 1 .....	45
2.2.3 Σταυρός 2 .....	47
2.2.4 Σταυρός 3 .....	48
<b>2.3 Περιγραφή σταυρών Ομάδας Β.....</b>	<b>50</b>
2.3.1 Ομάδα Β: Σταυροί αγιασμού -Παλαιότεροι.....	50
2.3.2 Σταυρός 4 .....	51
2.3.3 Σταυρός 5 .....	52
2.3.4 Σταυρός 6 .....	53
<b>2.4 Η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση των σταυρών ευλογίας ή αγιασμού .....</b>	<b>54</b>
2.4.1 Επιλογή αντιπροσωπευτικών Τεχνικών και μεθοδολογίας .....	54
2.4.2 Προετοιμασία του αντικειμένου.....	60
<b>2.5 Βήματα της μεθοδολογίας ψηφιοποίησης.....</b>	<b>62</b>
2.5.1 Επιφανειακός καθαρισμός.....	62
2.5.2 Τοποθέτηση του αντικειμένου που πρόκειται να φωτογραφηθεί.....	63
2.5.3 Ρύθμιση των φωτιστικών πηγών: .....	63
2.5.4 Τοποθέτηση και ρύθμιση της κάμερας.....	64
2.5.5 Αναλυτική Φωτογράφιση του αντικειμένου με φωτογραφική κάμερα.....	68
2.5.6 Εισαγωγή φωτογραφιών στο κάθε πρόγραμμα .....	71
<b>3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>80</b>
<b>3.1 Δομή παρουσίασης αποτελεσμάτων .....</b>	<b>80</b>
<b>3.2 Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων μοντελοποίησης ψηφιακής φωτογραμμετρίας και NeRF (Neural Radiance Fields).....</b>	<b>80</b>
3.2.1 Σταυρός 1 .....	81
3.2.2 Σταυρός 2 .....	86
3.2.3 Σταυρός 3 .....	89
3.2.4 Ομάδα Β: .....	93
3.2.5 Σταυρός 4 .....	93
3.2.6 Σταυρός 5 .....	96
3.2.7 Σταυρός 6 .....	100
<b>3.3 Προβλήματα μοντελοποίησης και λύσεις που υιοθετήθηκαν .....</b>	<b>104</b>
3.3.1 Φωτογραμμετρία .....	104

3.3.2 NeRF .....	108
<b>4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>112</b>
4.1 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των τεχνικών .....	112
4.2 Συγκριτική παράθεση αποτελεσμάτων .....	116
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>127</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>133</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....</b>	<b>141</b>
• <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 .....</b>	<b>146</b>

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Σκοπός & Στόχοι

Η διπλωματική αυτή εργασία εξετάζει την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση των σταυρών ευλογίας ή αγιασμού. Ερευνά τα θεωρητικά δεδομένα των τεχνικών απεικόνισης, στο βαθμό που αυτές αφορούν στα έργα τέχνης, στα μνημεία και εν γένει στον πολιτισμό.

Κατά την διαδικασία της βιβλιογραφικής έρευνας, διαπιστώθηκε ότι τα ελληνικά άρθρα που ασχολούνται αποκλειστικά με μικρογραφικούς σταυρούς ήταν πολύ περιορισμένα. Πληροφορίες συλλέχθηκαν μέσω βιβλίων από εκθέσεις που είχαν μικρές αναφορές για αυτά τα έργα, όπως Εκκλησιαστικά Αργυρά από Οικονομάκη-Παπαδοπούλου, Θησαυροί της Ορθοδοξίας από την Ελλάδα από Μπαλλιάν και Οικονομάκη-Παπαδοπούλου και Ιερά Μεγίστη Μονή Βατοπαιδίου Β' από την Μπαλλιάν. Στο διαδίκτυο εντοπίστηκαν επίσης περιγραφές από μουσεία, που έχουν στην συλλογή τους αντίστοιχα αντικείμενα όπως, το μουσείο Μπενάκη 2024, Μουσείο Παύλου και Αλεξάνδρας Κανελλοπούλου, 2024, Το φιλανθρωπικό Ίδρυμα Grace, 2024.

Σε μονές και σκευοφυλάκια εντοπίστηκαν αξιόλογοι μικρογραφικοί σταυροί, όμως υπήρξε δυσκολία πρόσβασης λόγω του ότι δεν είναι δημοσιευμένοι από αρχαιολόγο και δεν δόθηκε άδεια μελέτης και δημοσίευσης. Σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η ευαισθησία των υλικών κατασκευής, κυρίως του ξύλου – σπανιότερα του ελεφαντόδοντου. Ιδιαιτερότητες παρουσιάζουν και οι λεπτομερείς τεχνικές επεξεργασίας του μεταλλικού σκελετού, όπως η συρματερή τεχνική με πολύτιμα μέταλλα.

Οι μικρές διαστάσεις, το χαμηλό ανάγλυφο και οι έξεργες λεπτομέρειες πολλαπλών επιπέδων, δυσκόλεψαν τη διαδικασία προσέγγισης. Επιλέχθηκε αρχικά να γίνουν δοκιμές σε νεότερους σταυρούς, αλλά με παρόμοια κατασκευή. Η προσέγγιση των προβλημάτων που προκύπτουν κατά τη διαδικασία τρισδιάστατης μοντελοποίησης αντικειμένων σε μικρή κλίμακα δεν έχει ιδιαίτερα αναλυθεί και δεν εντοπίστηκε αναλυτικό εξειδικευμένο άρθρο στην ελληνική βιβλιογραφία.

Στην Ελλάδα δεν έχουν εντοπιστεί πηγές σχετικά με την αναπαράσταση ανάγλυφων μικρογραφιών σε macro επίπεδο. Δεν έχουν εντοπιστεί ικανοποιητικά 3D μοντέλα με χρήση φωτογραμμετρίας ή άλλης τεχνικής, για αντικείμενα σε τόσο μικρές διαστάσεις με μικρογραφικό ανάγλυφο διάκοσμο σε ελάχιστα εκατοστά. Άλλωστε, η σπανιότητα των μικρογραφικών έργων

και το ευαίσθητο υλικό κατασκευής αποτέλεσαν το βασικό ερέθισμα για την ενασχόληση με το συγκεκριμένο θέμα εργασίας.

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η ψηφιακή αποτύπωση, η ψηφιακή επεξεργασία και η σύγκριση των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται στον τομέα της μικρογραφικών ανάγλυφων παραστάσεων θρησκευτικού περιεχομένου. Ο σκοπός της επιστήμης της συντήρησης είναι η διατήρηση των αρχαιοτήτων και των έργων τέχνης ως υλικά αντικείμενα αλλά και ως ιστορικές μαρτυρίες. Σημαντικά βήματα κατά τις εργασίες συντήρησης είναι η καταγραφή, η τεκμηρίωση και η αποτύπωση.

Η τρισδιάστατη αποτύπωση αποτελεί μια σημαντική ψηφιακή τεκμηρίωση της κατάστασης διατήρησης του έργου. Η δημιουργία ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου αποτελεί βασικό αρχείο στην διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς μας σε ψηφιακή μορφή. Κατά τεκμήριο, ένα ψηφιακό αρχείο προσφέρει μια λεπτομερέστερη καταγραφή του αντικειμένου στην τωρινή κατάσταση διατήρησης του, πριν αλλοιωθεί περαιτέρω από το άγγιγμα του χρόνου. Στο ψηφιακό αντίγραφο θα μπορεί κανείς να παρατηρεί απομακρυσμένα, λεπτομέρειες και αλλοιώσεις που μπορεί να υποστεί το έργο κατά την διάρκεια της ζωής του και να βοηθήσει σε μετέπειτα διεργασίες και διαδικασίες λήψης αποφάσεων περί τυχόν επεμβάσεων, χωρίς να εκτίθεται σε κίνδυνο το ίδιο το αντικείμενο.

Ο βασικός στόχος είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου αντικειμένου σε ψηφιακή μορφή χρησιμοποιώντας εύκολα προσβάσιμα προγράμματα χωρίς ακριβό εξοπλισμό. Προκειμένου να γίνει κάτι τέτοιο, πρέπει να βρεθεί ένα πλάνο προσέγγισης της διαδικασίας ώστε να πετύχουμε το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα. Επιλέχθηκαν δύο μέθοδοι για τα 3D μοντέλα: η φωτογραμμετρία και τα NERF. Και οι δύο αυτές μέθοδοι είναι οικονομικές και σχετικά εύκολες.

## 1.2 Ιστορική αναφορά

### 1.2.1 Ο σταυρός ως σύμβολο στην Ιστορία

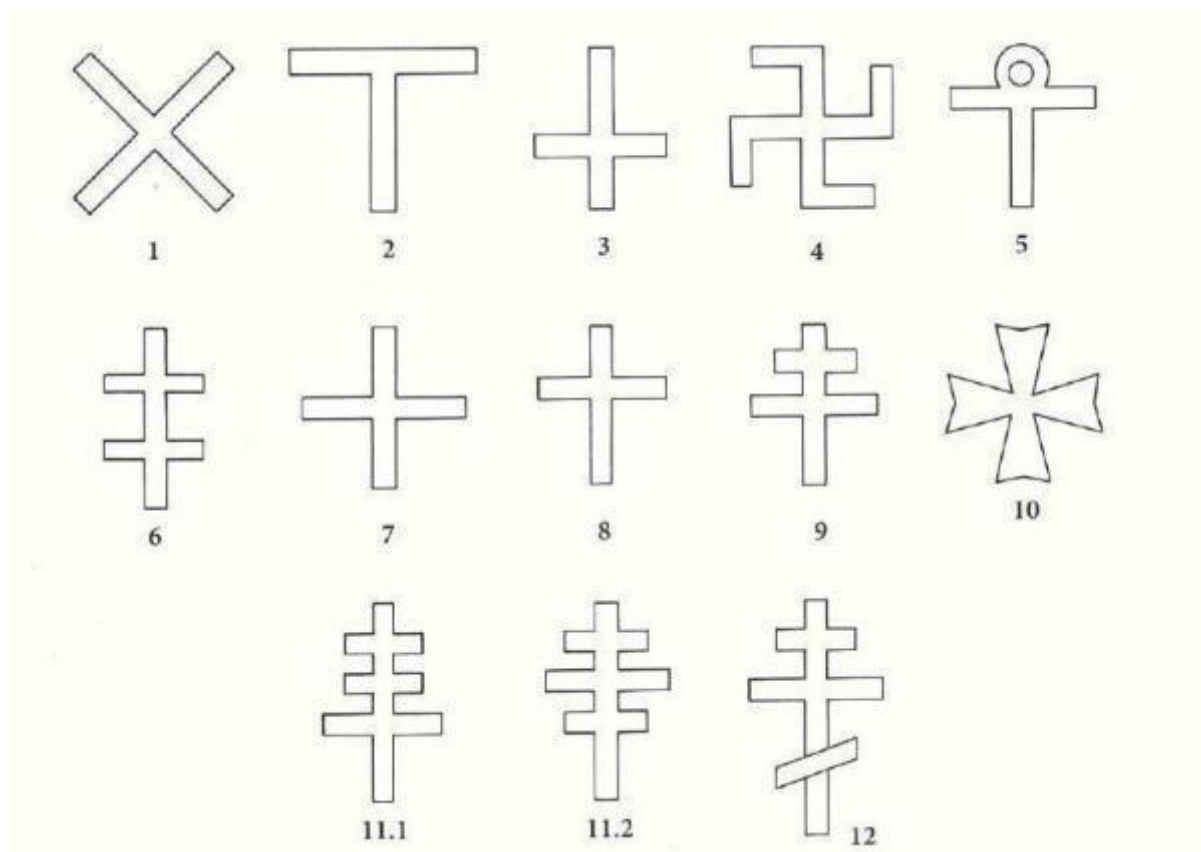
Ο σταυρός είναι ένα παγκόσμιο σύμβολο με ιστορία προγενέστερη από τον ίδιο τον χριστιανισμό. Στην πιο απλή του μορφή, είναι δύο γραμμές που διασταυρώνονται μεταξύ τους κάθετα. Ο σταυρός έχει εμφανιστεί σε αρκετές κουλτούρες και θρησκείες ανά τον κόσμο, παίρνοντας πολλές ερμηνείες (Britannica 2023). Στα προχριστιανικά χρόνια, ο σταυρός ήταν ήδη ένα αρκετά σημαντικό σύμβολο. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι για παράδειγμα χρησιμοποίησαν το ankh

(Εικ. 1), ένα σταυρό με θηλειά ως ιερογλυφικό για τις λέξεις "ζω", "ζωντανό" ή "ζωή" και είναι γνωστός στα λατινικά ως *crux ansata* (σταυρός σε σχήμα λαβής). Ως ζωντανό φυλαχτό, το ankh συχνά κρατείται ή προσφέρεται από θεούς και Φαραώ. Ως σταυρός, έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στον συμβολισμό και της Κοπτικής Ορθόδοξης Εκκλησίας (Britannica 2023).



*Εικόνα 1: Το Αιγυπτιακό σύμβολο ankh, ένας σταυρός, με θήλεια αντί για κεραία, 1981–1802 B.C., The Metropolitan Museum of Art*

Το σύμβολο του σταυρού χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε παλαιότερους πολιτισμούς, όπως τους Βαβυλώνιους και τους Ασσύριους, όπου συχνά συμβόλιζε διάφορους θεούς όπως ο Άνου, ο θεός του ουρανού και η Ιστάρ, θεά της γονιμότητας & της αγάπης, στους Αιγύπτιους αντιπροσωπεύει την ζωή και την γονιμότητα (Εικ. 2). Σε πολλούς προϊστορικούς πολιτισμούς εμφανιζόταν με μορφή σβάστικας ή Sun cross.



Εικόνα 2: Διαφορετικοί Τύποι σταυρών (Καλοπίση-Βέρτη et al.. 2011:286)

Ο σταυρός είναι το κεντρικό σύμβολο της χριστιανικής παράδοσης. Ο σταυρός αποτελείται από κάθετες και οριζόντιες κεραία. Οι κάθετες και οριζόντιες κεραίες του, συμβολίζουν για τους χριστιανούς πώς ο ίδιος ο Χριστός ήταν το σημείο τομής του θείου και του ανθρώπινου. Το σχήμα του σταυρού προκαλεί δέος και συγκίνηση στους χριστιανούς, διότι θεωρείται σημείο νίκης του Χριστού επί του θανάτου, ο οποίος με την Ανάστασή του προσφέρει στους πιστούς σωτηρία, άφεση αμαρτιών και την ελπίδα της αιώνιας ζωής. Ο σταυρός από όργανο θανατικής εκτέλεσης και ντροπής αναδεικνύεται σε υπερβατικό και ιερό θρησκευτικό σύμβολο (Καραγιάννη 2010:14). Θεωρείται ότι έχει έναν βαθιά προστατευτικό και ευλογητικό ρόλο για τους πιστούς, ενώ δεν προκαλεί υποταγή αλλά επίκληση ζωής και εμπιστοσύνης.

Ως κεντρικό χριστιανικό σύμβολο, ο σταυρός είναι ένα σημαντικό αντικείμενο, σεβαστό στην τελετουργική και τη θρησκευτική εμπειρία των πιστών. Στον πρώιμο Χριστιανισμό, τα σύμβολα που χρησιμοποιήθηκαν πρώτα για τον Χριστό και τους Χριστιανούς ήταν το ψάρι- ΙΧΘΥΣ (ΙΧΘΥΣ=ΙΗΣΟΥΣ ΧΡΙΣΤΟΣ ΘΕΟΥ ΥΙΟΣ ΣΩΤΗΡ), το αρνί ή το Χριστόγραμμα ΧΡ (ΧΡ=ΧΡΙΣΤΟΣ) (Μουρελάτος 2023). Το Χριστόγραμμα ήρθε σε όραμα του Αυτοκράτορα Κωνσταντίνου στις 28 Οκτωβρίου του 312, όπου είδε στον ουρανό τα Ελληνικά γράμματα Χ & Ρ σε ένα σταυρό πάνω στο δίσκο του ήλιου, με την επιγραφή: *'in hoc signo vinces'*, δηλαδή *'Εν τούτῳ(σημείο)νικά*. Το



γεγονός αυτό οδήγησε τον Αυτοκράτορα και την μητέρα του Ελένη να ψάξουν και να βρουν τον ίδιο τον Τίμιο σταυρό. Στα μέσα του 4ου αι. ο Κωνσταντίνος και ο Θεοδόσιος Α΄ κατάργησαν την σταυρική θανατική ποινή. Αργότερα, ο σταυρός επανεξετάστηκε και έγινε σύμβολο ανάστασης και λύτρωσης, νίκης και ευλογίας (Abbinck 2015:125). Όπως γράφει ο πατέρας της εκκλησίας Ιωάννης ο Χρυσόστομος (Ιωάννου Χρυσοστόμου προς Ιουδαίους και Έλληνας ,ΕΠΕ<sup>1</sup> 34,57). “αυτό το καταραμένο και αποτρόπαιο σύμβολο της χειρότερης τιμωρίας, τώρα έχει γίνει ποθητό και αξιαγάπητο. Παντού το βλέπεις, στην αγία τράπεζα, στις χειροτονίες των Ιερέων, στην θεία λειτουργία, στα σπίτια, στις αγορές, στις ερημιές και στους δρόμους, στις θάλασσες, στα πλοία και στα νησιά, στα κρεβάτια και στα ενδύματα, στους γάμους, στα συμπόσια, στα χρυσά και τα ασημένια σκεύη, στα κοσμήματα και στις τοιχογραφίες. Τόσο περιπόθητο σε όλους έγινε το θαυμαστό αυτό δώρο, η ανέκφραστη αυτή χάρη”. Ο σταυρός χρησιμοποιείται από τον πιστό λαό ως συμβολικό στοιχείο, συνοδευόμενος με τον ανάλογο σεβασμό κατά την χρήση του, στις οικίες, στη λαϊκή τέχνη, στα ξυλόγλυπτα, στην διακόσμηση αρχιτεκτονικών στοιχείων και σε τάφους ορθοδόξων (Ιωάννου Χρυσοστόμου προς Ιουδαίους και Έλληνας ,ΕΠΕ 34,57).

Η ύπαρξη του σταυρού ως συμβόλου ανάγεται στα βάθη της αρχαιότητας. Η χρήση του είχε και έχει τόσο έντονα θρησκευτικό και εθνικιστικό χαρακτήρα, όσο και καλλιτεχνικό. Ο σταυρός έχει χρησιμοποιηθεί ως θρησκευτικό σύμβολο για απόδοση λατρείας ή τιμής σε θεότητες, ως εθνικό σύμβολο σε λάβαρα, σημαίες και θυρεούς, κυρίως για να δηλώσει τις θρησκευτικές αντιλήψεις του φέροντος, αλλά και την υποστήριξη του θεού ή Αγίου που αντιπροσωπεύεται, ως φυλαχτό, ως σύμβολο προστασίας, ως μοτίβο σε διακοσμήσεις, ενδύματα, κτίρια, κοσμήματα, κ.α. (Britannica 2023)

Το σχήμα του σταυρού είναι τόσο ποικιλόμορφο, όσες είναι και οι χρήσεις του, ενώ χρησιμοποιείται από πολλές εθνικές, γλωσσικές, θρησκευτικές και άλλου τύπου ομάδες. Μορφές σταυρών είναι ο διάλιθος, ο διχαλωτός, επάνω σε βαθμίδες, πάνω σε ημισέληνο, πάνω σε σφαίρα, με ευθύγραμμες απολήξεις, με πεπλατυσμένα άκρα, με σταγόνες, ο τριφυλλόμορφος, ο φυλλοφόρος, κ.α. (Καλοπίση-Βέρτη *et al.* 2011)

Οι Αρμένιοι τοποθετούσαν πέτρινους σταυρούς, που ονομάζονταν Khatchkars, ως μνημεία των νεκρών και σε τόπους σημαντικών γεγονότων κατά τον Μεσαίωνα (Εικ. 3)

Ο σταυρός έπαιρνε διάφορες χρήσεις όπως σαν λειψανοθήκη (Εικ. 4). Ο σταυρός αυτός του 13ου αιώνα περιείχε κόμματι τίμιου ξύλου και είχε λατρευτική χρήση μέσα στο ναό.

---

<sup>1</sup> ΕΠΕ = Έλληνες Πατέρες της Εκκλησίας



Εικόνα 3: Khachkar-Λίθινος σταυρός, Αρμενία, 12ος αιώνας, The Metropolitan Museum of Art

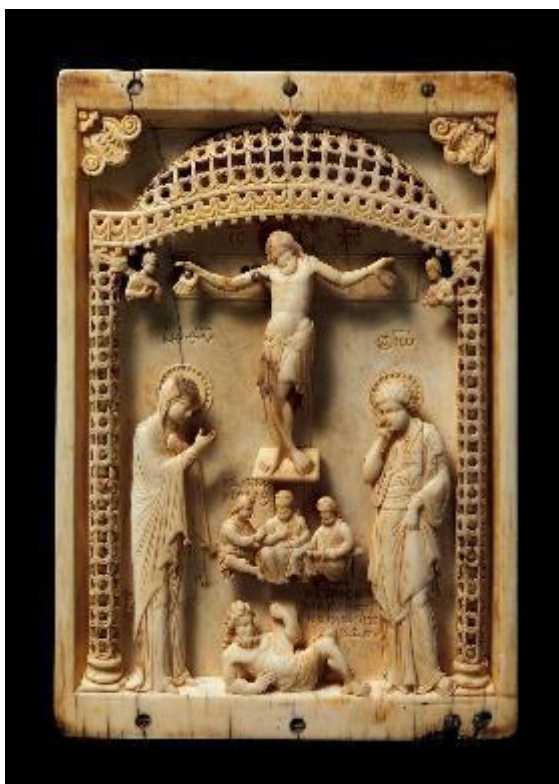


Εικόνα 4: Λειψανοθήκη σταυρού, αρχές του XIII αιώνα, καθεδρικός ναός της Λιέγης. (Πηγή: Bruni 2021)

### 1.2.2 Μικροτεχνία

Η μικροτεχνία είναι η τέχνη κατασκευής καλλιτεχνημάτων και διαφόρων άλλων αντικειμένων μικρού μεγέθους. Στη μικροτεχνία περιλαμβάνονται οι διακοσμητικές τέχνες, όπως η αργυροχρυσοχοΐα, η μεταλλοτεχνία, η υφαντουργία, η σμαλτοκολλητική, η κεραμική, η ελεφαντουργία, η λιθογλυπτική, κ.λπ. (Λοβέρδου - Τσιγαρίδα 1997).

Η μικροτεχνία ήταν ένας σημαντικός δείκτης των σχέσεων του Βυζαντίου με το χώρο της τέχνης. Η μικροτεχνία στις ποικίλες εκφράσεις της είναι δεμένη με την καθημερινότητα των ανθρώπων και έτσι τα αντικείμενα της αποτελούν κοινό σημείο αναφοράς του λαού. Η εκκλησιαστική και η αυτοκρατορική τέχνη έφταναν στο λαό και συχνά τα θέματα τους περνούσαν στα τέχνηρα της λαϊκής τέχνης (Λοβέρδου - Τσιγαρίδα 1997).



*Εικόνα 5: Ανάγλυφη μικρογραφική Σταύρωση σε ελεφαντόδοντο, 10ος αιώνας, ΜΕΤ, τμήμα τρίπτυχου, διαστάσεις: 15.1 × 8.9 × 0.8 cm, The Metropolitan Museum of Art*

Οι διάφορες καλλιτεχνικές τάσεις του Βυζαντίου αποκαλύπτονται καλύτερα στα έργα της μικροτεχνίας και ιδιαίτερα στα ελεφαντοστέινα έργα. Τα έργα που κατασκευάζονται με την τεχνική της μικροτεχνίας ήταν ιδιαίτερως δαπανηρά, εξαιτίας της τεχνογνωσίας που χρειαζόταν να κατασκευαστούν, καθώς και τις πολλές ώρες εργασίας. Αυτά τα έργα μικροτεχνίας

θεωρούνταν έργα υψηλής τέχνης και κατασκευάζονταν σχεδόν αποκλειστικά από μεγάλα καλλιτεχνικά κέντρα (Λοβέρδου – Τσιγαρίδα 1997).

Αρκετά από τα ακριβά αντικείμενα μικροτεχνίας αποτελούσαν αφιερώματα των υπάτων, των αυλικών και των αξιωματούχων, όταν αναλάμβαναν κάποιο νέο αξίωμα. Προσφιλείς αφιερώσεις των εύπορων ήταν τα αντικείμενα από άργυρο και άλλα πολύτιμα μέταλλα, που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για θρησκευτικούς ή κοσμικούς σκοπούς: δίσκοι με μυθολογικά ή θρησκευτικά θέματα, εκκλησιαστικά σκεύη, όπως ποτήρια, δισκάρια, λειψανοθήκες και ασημένια και χρυσά κοσμήματα, θυμιατήρια, σταυροί λιτανείας, λύχνοι και λιβανοθήκες (Λοβέρδου – Τσιγαρίδα 1997).



*Εικόνα 6: Μικροτεχνία, ανάγλυφες μορφές σε σκήπτρο του Λέοντος ΣΤ (886 - 912 μ.Χ.), Βερολίνο, Museum for Spatantike and Byzantinische Kunst.*

Στα ασημικά που παρήγαγε η Κωνσταντινούπολη – έργα καλλιτεχνών των σπουδαιότερων εργαστηρίων της αυτοκρατορίας – μπορεί κανείς να παρακολουθήσει μια προοδευτική απλοποίηση των μορφών και μια επιβίωση της κλασικής παράδοσης, που γίνεται ισχυρότερη σε έργα των αρχών του 6ου αιώνα, λίγο πριν από την άνοδο του Ιουστινιανού στο θρόνο. Τον χαρακτήρα του βαρύτιμου στα έργα βυζαντινής μικροτεχνίας δεν προσδίδουν τόσο τα πολύτιμα υλικά, όσο ο ξεκάθαρος και περίτεχνος τρόπος επεξεργασίας τους, που τα κάνει να ξεχωρίζουν από τα σύγχρονά τους έργα χρυσοχοΐας ή ένθετης τεχνικής και να γίνονται πρότυπα για τις γειτονικές στο Βυζάντιο χώρες του βορρά και της δύσης (Λοβέρδου - Τσιγαρίδα 1997).

Οι βασικές κατηγορίες σταυρών που χρησιμοποιούνται στην εκκλησία είναι πέντε. Διακρίνονται σε σταυρούς λιτανείας, μεγαλύτερου μεγέθους, αγιασμού, ευλογίας και επιστήθιους (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου1980). Οι σταυροί που θα μελετηθούν από την παρούσα πτυχιακή εργασία είναι δύο: Οι σταυροί ευλογίας και αγιασμού.

### 1.2.3 Σταυροί ευλογίας

Σταυροί ευλογίας ονομάζονται εκείνοι που δεν έχουν βάση, καθώς χρησιμοποιούνται από τους ιερείς για την ευλογία των πιστών κατά την τέλεση των ιερών ακολουθιών (Εικ.7). Χρησιμοποιούνται από τον Ιερέα κατά κόρον όταν επιθυμεί να εκβάλει ακάθαρτα πνεύματα (δαιμόνια) από τον ασθενή<sup>2</sup>. Βρίσκονται πάνω στην αγία τράπεζα και δεξιά του Ιερού ευαγγελίου.



*Εικόνα 7: Σταυρός ευλογίας με πνήνα από ελεφαντοστό, έτος 1678, ύψος 23,2 cm.  
Η επιγραφή «Συμεών» αφορά μάλλον το όνομα του γλύπτη. Το δέσιμο του σταυρού με λεπτό συρματερό  
σμάλτο φέρει την υπογραφή «ΧΕΙΡ ΙΩΑΝΝΟΥ»  
«ΠΑΝΤΑΣΕΒΑΤΟ ΧΡΥΣΟ ΣΚΗΠΤΡΟ ΣΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΙΕΡΟΜΟΝΑΧΟΥ ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ ΒΑΤΟΠΑΙΔΙΟΥ»,  
I.M.M. Βατοπαιδίου*

---

<sup>2</sup> Συνέντευξη Ιερέως Σησαμάκη Μιχαήλ.

Ωστόσο, από τον 18ο αιώνα συναντάμε και σταυρούς ευλογίας με βάση, μια επίδραση από τη Δύση. Στον ξύλινο πυρήνα του σταυρού απεικονίζονται σε πολύ μικρή κλίμακα και με λεπτό σκάλισμα παραστάσεις του Δωδεκάορτου. Στο κέντρο της μιας όψης παρουσιάζεται συνήθως η Βάπτισμα, ενώ στην άλλη η Σταύρωση. Το πλαίσιο του σταυρού καλύπτεται με συρματερά φυτικά ή γεωμετρικά διακοσμητικά στοιχεία (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980:32), με την τεχνική των λακκωτών ή ημιδιάφανων σμάλτων, ενώ οι εναλλασσόμενες χρωματικά ημιπολύτιμες πέτρες δίνουν μια άλλη αίσθηση στη συνολική όψη του σταυρού. Η λαβή με τις καμπύλες επιφάνειες θα επικρατήσει σε όλο τον 18ο αιώνα, έναντι των προγενέστερων πολύπλευρων επιφανειών (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980).

#### 1.2.4 Σταυροί αγιασμού

Ο σταυρός αγιασμού χρησιμοποιείται από τους ιερείς για την τέλεση του αγιασμού. Η διαφοροποίησή του από τον σταυρό ευλογίας έγκειται στο ότι ο σταυρός αγιασμού φέρει βάση (που άλλοτε είναι λιτή και άλλοτε περίτεχνα διακοσμημένη) και ότι στη μια του όψη έχει σαν κεντρική παράσταση τη Βάπτισμα. Φυλάσσεται συνήθως πάνω στην αγία τράπεζα ή στο εικονοστάσι<sup>3</sup>(Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980).

Στον ξύλινο πυρήνα του σταυρού εικονίζεται συνήθως σκηνές από το Δωδεκάορτο με τη Βάπτισμα πλαισιωμένη από Ευαγγελιστές στην μια όψη και στο κέντρο της άλλης η Σταύρωση, που περιβάλλεται από τους Ευαγγελιστές και από παραστάσεις άλλων μεγάλων εορτών (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980).

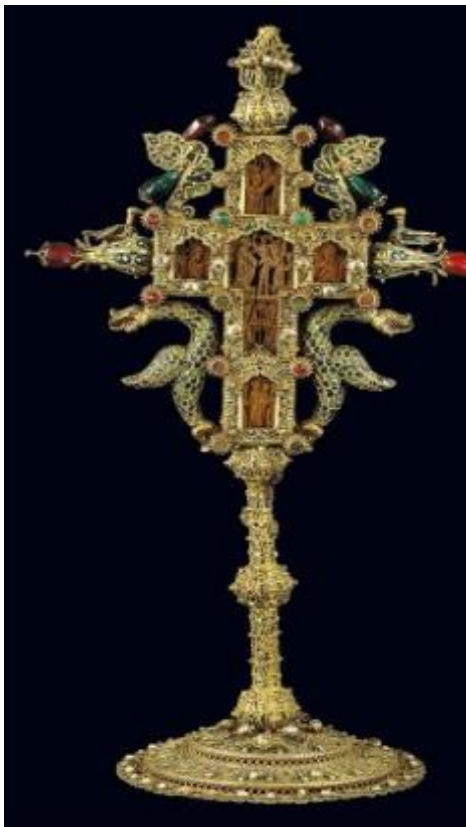
Το πλαίσιο του σταυρού συνήθως καλύπτεται με φυτικά ή γεωμετρικά διακοσμητικά στοιχεία όπου κυριαρχεί η συρματερή τεχνική μόνη ή διακοσμημένη με σμάλτα. Η τεχνική που περιλαμβάνει τη συρματερή τεχνική και την ενσωμάτωση των σμάλτων διακρίνεται για την πολυχρωμία και την ποικιλία των τεχνικών (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980).

Ο σταυρός αγιασμού στο μουσείο Μπενάκη (Εικ. 8) αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα, που ενσωματώνει όλα τα βασικά χαρακτηριστικά. Οι κεντρικές σκηνές της Βάπτισμα και της Σταύρωση περιβάλλονται από παραστάσεις αγίων και ευαγγελιστών. Ιδιαίτερη έμφαση έχει δώσει ο τεχνίτης στο διάκοσμο πολύχρωμο δέσιμο: γαλάζιο και πράσινο σμάλτο, κόκκινες πέτρες, μαργαριτάρια και χρυσοί κόκκοι σε συνδυασμό με παραδείσια σύμβολα και μυθικά όντα όπως φολιδωτοί φτερωτοί δράκοντες με δυο κεφάλια, πουλιά, λωτόσχημα ανθέμια, τουλίπες και σφαίρα με στέμμα (Ballian 2008).

---

<sup>3</sup> Συνέντευξη Ιερέως Σησαμάκη Μιχαήλ.

Εκτενής έρευνα πραγματοποιήθηκε στο Διαδίκτυο και σε βιβλία (μουσείο Μπενάκη, Μουσείο Παύλου και Αλεξάνδρας Κανελλοπούλου, το φιλανθρωπικό Ίδρυμα Grace και Εκκλησιαστικά Αργυρά από Οικονομάκη-Παπαδοπούλου, Θησαυροί της Ορθοδοξίας από την Ελλάδα από Μπαλλιάν και Οικονομάκη-Παπαδοπούλου, Θησαυροί του Αγίου όρους από Λοβέρδου- Τσιγαρίδα και Μπαλλιάν και Ιερά Μεγίστη Μονή Βατοπαιδίου Β΄ από την Μπαλλιάν. Τα οποία μνημονεύονται με σχετικές αναφορές στα ανάλογα σημεία της πτυχιακή μου εργασίας) ώστε να εντοπιστούν επιπλέον τεχνικές πληροφορίες σχετικά με τους σταυρούς ευλογίας ή αγιασμού. Σε πολλές εκκλησίες και εκκλησιαστικά μουσεία εντοπίστηκε μικρός αριθμός αξιόλογων έργων τέχνης μικροτεχνίας και σε πολλές ιστοσελίδες υπάρχει μια απλή περιγραφή, η οποία όμως περιορίζεται στην αναφορά των θεμάτων που εικονίζονται και επιγραμματικά των υλικών κατασκευής. Αναφέρονται πού έχουν εντοπιστεί επιγραφές και χρονολογίες, που βοηθάνε στο να αντληθούν διάφορα στοιχεία. Σε ένα σταυρό αναφέρεται η πόλη της Άρτας, ενώ σε άλλον ο δημιουργός ή και ο αναθέτης.



Εικόνα 8: Σταυρός αγιασμού (Μουσείο Μπενάκη ΤΑ197) (Πηγή: ΘΗΣΑΥΡΟΙ ΤΗΣ ΟΡΘΟΔΟΞΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 1994)



Εικόνα 9: Σταυρός αγιασμού, 17ος-18ος αιώνας, Ξύλο, χαλκός, κοράλλι, ημιπολύτιμοι λίθοι. Ύψος. 37,5 cm Canellopoulos Museum

Ως ελάχιστο συμπέρασμα μπορούμε να πούμε ότι δεν αποτέλεσε μόνο η Κωνσταντινούπολη κέντρο παραγωγής, αλλά και άλλες πόλεις της Ελλάδας, με σημαντικούς αργυροχρυσόχρους και καλλιτέχνες, που δημιούργησαν σημαντικά έργα μικροτεχνίας. Από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, διαπιστώνεται μεγάλη ποικιλία και ελευθερία στη διακόσμηση. Οι πληροφορίες αυτές δεν είναι απόλυτες και στηρίζονται περισσότερο στην προφορική παράδοση, αλλά και η χρήση των σταυρών δεν μας διαφωτίζει ως προς την ονομασία, γιατί χρησιμοποιούνται είτε για ευλογία είτε για αγιασμό, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη οποιοσδήποτε διαχωρισμός (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980).



### 1.2.5 Υλικά κατασκευής

Οι σταυροί ευλογίας και αγιασμού αποτελούνται συνήθως από ξυλόγλυπτο πυρήνα, ενώ διασώζονται ελάχιστοι από ελεφαντόδοντο (Εικ. 7), δεμένοι σε μεταλλικό πλαίσιο. Το μεταλλικό τους πλαίσιο έχει ανοίγματα για τις παραστάσεις σε οξυκόρυφα τοξίλια με στριφτούς κιονίσκους, στην απόληξη της λαβής, και πολυεδρικούς κόμπους στη λαβή. Γύρω από τις κεραίες συνήθως εντοπίζονται τα περισσότερα διακοσμητικά στοιχεία, όπως δράκοντες, τρουλίσκοι, πτηνά, ακόμα και μεταλλικά εικονίδια. Σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχουν πρόσθετες εξωτερικά παραστάσεις, σκαλισμένες σε ξύλο και δεμένες σε μεταλλικό πλαίσιο. Το πλαίσιο είναι καλυμμένο από συρματερής τεχνικής κοσμήματα πάνω σε σμαλτωμένο κάμπο, με αποχρώσεις του πράσινου και του γαλάζιου κατά προτίμηση. Τρκουάζ, κοράλλι, μαργαριτάρια, Καρχηδόνιοι λίθοι, αλλά και υαλόμαζα τονίζουν την πολυχρωμία του συνόλου(Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980).

**Ξύλο:** Τα είδη ξύλου που χρησιμοποιούσαν ήταν συνήθως λεμονιά, κυπαρισσόξυλο και μουσμουλιά καθώς είναι αρκετά σκληρά και ανθεκτικά ξύλα με πυκνά και ισόβεννα νερά (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980) .

**Μέταλλα:** Χρυσός, ασήμι, σίδηρος και κράματα μετάλλων. Ο χρυσός είδε μεγάλη χρήση την εποχή του Βυζαντίου, όμως από τα αντικείμενα αυτά τα περισσότερα λεηλατήθηκαν ή έλιωσαν. Στις επόμενες περιόδους το ασήμι αντικατέστησε τον χρυσό, ενώ τα πιο “ταπεινά” σκεύη κατασκευάζονταν από χαλκό, κράματα χαλκού (ορείχαλκος, μπρούντζος), υποκατάστατα ασημιού και μέταλλα επάργυρα (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980).

**Τεχνική Σμάλτο:** Η τεχνική του σμάλτου βασίζεται στη χρήση ειδικής υαλόμαζας, χρωματισμένης με διάφορα μεταλλικά οξείδια, η οποία τοποθετείται πάνω σε μεταλλική επιφάνεια, θερμαίνεται και ρευστοποιείται. Όταν η υαλόμαζα κρυώσει, μέσω της χημικής ένωσης που έχει συντελεστεί, αποτελεί πλέον ένα συμπαγές και αδιάσπαστο σώμα με το μέταλλο (Συκκά 2007).

**Πολύτιμοι λίθοι:** Είναι ιδιαίτερα σπάνιοι και εντοπίζονται κυρίως σε παλαιότερα έργα (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980).

**Ημιπολύτιμοι λίθοι:** Δεν είναι τόσο σπάνιοι και υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία. όπως: Αμέθυστος, Τρκουάζ, Αχάτης κ.α. (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980).

**Οργανικά υλικά:** Σεντέφι, κοράλλι, μαργαριτάρια, ελεφαντόδοντο και οστέινα τμήματα τα οποία χρησιμοποιούνταν ως φθηνότερες επιλογές.

Τα περισσότερα έργα μικροτεχνίας που υπήρχαν στην Κωνσταντινούπολη λεηλατήθηκαν κατά την πρώτη άλωση της πόλης από τους σταυροφόρους το 1204 και κατά τη δεύτερη άλωση

από τους Οθωμανούς το 1453. Πολλά από τα έργα μικροτεχνίας είτε καταστράφηκαν είτε διαλύθηκαν, προκειμένου να ξαναχρησιμοποιηθούν τα μέταλλα και τα πολύτιμα υλικά κατασκευής.

Τα έργα μικροτεχνίας από ελεφαντόδοντο, κατά την αρχαιότητα και την βυζαντινή περίοδο ήταν ιδιαίτερα σπάνια. Το ελεφαντόδοντο ήταν ακριβό και δυσεύρετο υλικό, καθώς προερχόταν κυρίως από την Ινδία και κατά περιόδους από την Αφρική. Ανά εποχές οι δρόμοι του εμπορίου γινόντουσαν επικίνδυνοι ή κλείνανε. Οι αργυροχόοι καταφεύγουν σε υποκατάστατα του, όπως κόκκαλα από μεγάλα ζώα, όπως καμήλες, βοοειδή, ή αμμοερίφια καθώς ήταν πιο εύκολα προσβάσιμα (Μπαλλιάν 1994).

Τα σημαντικότερα καλλιτεχνικά εργαστήρια που επεξεργάζονταν το ελεφαντόδοντο και παρήγαγαν έργα ήταν κυρίως στην Κωνσταντινούπολη και στην Αλεξάνδρεια (Ballian 2018)

Πολλές όμως διακοσμητικές πέτρες δεν είναι παρά χρωματιστή υαλόμαζα σε έντονα χρώματα (κόκκινο, πράσινο, βαθύ γαλάζιο) ή και άχρωμη πάνω σε φόντο από χρωματιστό χαρτί με εμφάνιση πολύτιμης πέτρας χάρη σε ειδικά καλούπια κατασκευής(Οικονομάκη-Παπαδοπούλου1980).



*Εικόνα 10: Δίπτυχο με ανάγλυφη μικρογραφική Γέννηση και Προσκύνηση των Μάγων, ασήμι και νιέλο, κορνίζα επίχρυση, Παρίσι, γ. 1500, The Cloisters*

### 1.2.6 Θεματολογία σταυρών

Στο κέντρο κάθε πλευράς του σταυρού εικονίζεται αντιστοίχως η Σταύρωση και η Γέννηση ή η Βάπτιση, οι οποίες είναι πλαισιωμένες από παραστάσεις άλλων μεγάλων εορτών, σκηνές Δωδεκάορτου, Αποστόλων, Ευαγγελιστών και Αγίων (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου1980).

Την ίδια εποχή υπάρχουν και μικρότεροι, λιγότερο φορτωμένοι σταυροί του τύπου αυτού και με λιγότερες παραστάσεις. Έχουν ανθόσχημα πρόσθετα στοιχεία στα άκρα ή στις εσωτερικές γωνίες των κεραιών και τρουλίσκους πάνω στις οριζόντιες κεραιές – η λαβή τους κάποτε απολήγει σε σφαιρίδιο. Άλλοι σταυροί, στη θέση των σμάλτων έχουν εγχάρακτο διάκοσμο. Συχνά οι σταυροί αυτοί έχουν στις γωνίες τρουλίσκους (Μπαλλιάν 1994).

Αξιοπρόσεκτο στοιχείο σε μερικούς σταυρούς είναι η εμφάνιση της βάσης η οποία, αρκετές φορές, αποτελεί μεταγενέστερη προσθήκη. Σε μερικές περιπτώσεις μάλιστα, μαζί με τη βάση, προστίθενται και άλλα χυτά διακοσμητικά στοιχεία στις κεραιές (χαρακτηριστική η διαφορετική τεχνοτροπία τους)(Οικονομάκη-Παπαδοπούλου1980).

Από τα μέσα του 18ου αιώνα περίπου επικρατεί ο σταυρός με το εξ ολοκλήρου σχεδόν συρματερό πλαίσιο και βάση. Οι παραστάσεις του πυρήνα του είναι σύνθετες, πολυπρόσωπες, κάποτε σε πολύ λεπτό σκάλισμα. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα, ο μεγάλος φόρτος διακόσμου σε πρόσθετα εξωτερικά των κεραιών στοιχεία: πουλιά, δράκοντες, πολλών ειδών άνθη. Παράλληλα με τα σμάλτα πού συνδυάζονται με τη συρματερή τεχνική<sup>4</sup> κυκλοφορούν και τα ζωγραφισμένα σμάλτα (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου 1980). Συχνά μάλιστα συμβαίνει κάτω από όλα αυτά τα κοσμήματα να εξαφανίζεται το περίγραμμα του σταυρού ή να καλύπτονται σχεδόν οι παραστάσεις. Ο τύπος αυτός διατηρείται με πολλές παραλλαγές μέχρι τα μέσα περίπου του 19ου αιώνα και μαρτυρεί τη λειτουργία εργαστηρίων αργυροχοΐας υψηλής τεχνικής ικανότητας. Δίπλα σ' αυτούς τους πολύπλοκους σταυρούς παράγεται και χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός σταυρών πολύ απλούστερης κατασκευής, που δεν παύουν όμως να έχουν τη σημασία τους για την ιστορία της αργυροχοΐας.

Δείγματα αρχαιότερης ομάδας σταυρών (δεύτερο μισό τού 17ου αιώνα) από τις μονές Ταξιαρχών Αιγιαλείας, Αγίας Λαύρας Καλαβρύτων και Μεγίστης Λαύρας Αγίου Όρους χαρακτηρίζονται από μεγάλο μέγεθος (ύψος 0,35 m περίπου).

---

<sup>4</sup> Η συρματερή τεχνική, όπως και οι τεχνικές πού αναφέραμε παραπάνω, είναι γνωστή από το ότι «τραβιέται» με τη βοήθεια τού «σύρτη», ενός εργαλείου με μικρές τρύπες διαφορετικής διαμέτρου. Με σύρματα διαφορετικού πάχους και μορφής σχηματίζονται τα επιμέρους θέματα πού κατόπιν συγκολλούνται για να συντεθούν μεγαλύτερα διακοσμητικά θέματα ή και ολόκληρα αντικείμενα (Οικονομάκη-Παπαδοπούλου1980:32).

Μέσα από έρευνα στη βιβλιοθήκη του Βατοπαιδίου στο Άγιον Όρος, δεν εντοπίστηκε σημαντική βιβλιογραφία σχετική με τους σταυρούς ευλογίας και αγιασμού. Εντοπίστηκαν μόνο περιγραφές των σταυρών από αρχαιολόγους που αναλύουν τους σταυρούς ως μεμονωμένα έργα – τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, την ιστορία που έχει ο σταυρός, την προέλευση, τον ιδιοκτήτη, υλικά κατασκευής και τις τεχνικές κατασκευής τους.

Διαπιστώθηκε από υποδείξεις λογίων μοναχών σε σχετικά συγγράμματα πως δεν αναφέρονται στη χρήση των σταυρών ευλογίας ή αγιασμού, πιθανότατα λόγω της κοινής γνώσης για την χρήση αυτών των δύο αντικειμένων. Μετά από ερωτήσεις σε ιερείς και αρχιερείς εκτός και εντός του Αγίου Όρους, όλοι καταλήγουν στην ίδια άποψη. Γι' αυτό και θεωρούμε λοιπόν σκόπιμο να αναφέρουμε την επεξήγηση που μας έδωσε προφορικά ο σκευοφύλακας του Βατοπαιδίου, Ιωσήφ ο Βατοπαιδινός: “Πιθανόν να θεώρησαν πλεονασμό να γράψουν και να εξηγήσουν σε αναλυτική περιγραφή την χρήση τους”.

### 1.2.7 Ιστορική Εξέλιξη

Σύμφωνα με την παράδοση, οι σκαλιστοί σταυροί προερχόντουσαν από καλλιτεχνικά εργαστήρια από το Άγιον Όρος. Η Ballian (2018) γράφει ότι: «ο Ιωάννης ο Κομνηνός το 1698 αναφέρεται σε σκαλιστούς ξύλινους σταυρούς που τους κατασκεύαζαν οι μοναχοί για να μπορούν να καλύψουν τα αναγκαία έξοδα του μοναστηριού τους».

Οι γραπτές πηγές για την κατασκευή των σταυρών εκείνης της περιόδου είναι περιορισμένες, ενώ δεν έχει διασωθεί ικανοποιητικός αριθμός αντικειμένων για να φωτίσει τις τεχνικές λεπτομέρειες της εποχής, τους καλλιτέχνες και τα καλλιτεχνικά εργαστήρια.

Η Ballian (2018) τονίζει το γεγονός ότι γνωρίζουμε πολύ λίγα για το ξεκίνημα των σκαλιστών σταυρών και ότι το ξύλο είναι ένα υλικό που δεν επιβιώνει εύκολα, γι' αυτό το μεγαλύτερο μέρος των σταυρών που έχουν διατηρηθεί χρονολογούνται από τους μεταγενέστερους Οθωμανικούς αιώνες. Σημαντική επιρροή στην μικροτεχνία των ξύλινων σταυρών είχε η κρητική σχολή, καθώς έκαναν εμπόριο με την Ανατολική Μεσόγειο και την Ιταλία, και η ποιότητα της δουλειάς τους είχε διαδοθεί.

Στο δεύτερο μισό του 17ου αιώνα, η χρήση του σμάλτου με διάφορες τεχνικές είχε ενσωματωθεί στα καλλιτεχνικά εργαστήρια της αργυροχοΐας. Οι σταυροί, ανάλογα την πολυπλοκότητα και τα υλικά, αντιστοιχούσαν στην κοινωνική και οικονομική τάξη του δωρητή. Σύμφωνα με την Ballian υπάρχουν αναφορές για σταυρούς σκαλισμένους σε ελεφαντόδοντο από αθωνίτες μοναχούς, αλλά το μοναδικό παράδειγμα που σώζεται είναι ο σταυρός του Ηγουμένου

Διονυσίου Ξενιώτη του 1678 (Εικ. 7). Η ιστορική εξέλιξη αυτών των ιδιαίτερων μικρογραφικών έργων τέχνης χάνεται πίσω στους αιώνες καθώς ελάχιστα αντικείμενα έχουν διασωθεί μέχρι τις ημέρες μας, δυσχεραίνοντας τη μελέτη τους και καθιστώντας δύσκολη την παρακολούθηση των εξελίξεων. Πολλά από τα έργα μικροτεχνίας είτε καταστράφηκαν είτε διαλύθηκαν προκειμένου να ξαναχρησιμοποιηθούν τα μέταλλα και τα πολύτιμα υλικά κατασκευής.

### 1.2.8 Ευπάθεια των σταυρών ευλογίας και αγιασμού

Οι σταυροί ευλογίας συνδυάζουν υλικά κατασκευής που προέρχονται από οργανικά υλικά όπως ξύλο και ελεφαντόδοντο στον πυρήνα, αλλά και ανόργανα όπως το μεταλλικό πλαίσιο, ημιπολύτιμοι λίθοι, κ.α. Η ιδιαίτερη συνδυαστική τεχνική κατασκευής τους και η λεπτεπίλεπτη διακόσμηση τα καθιστά ευάλωτα αντικείμενα.

Οι περιβαλλοντικές παράμετροι επιδρούν στα υλικά κατασκευής των έργων τέχνης, δημιουργώντας πληθώρα προβλημάτων και φθορών. Το ξύλο είναι οργανικό και υγροσκοπικό υλικό και δέχεται αλλοιώσεις από την στιγμή που κόβεται από το δέντρο. Διατηρεί όμως ποσοστό υγρασίας, το οποίο αποβάλλεται σταδιακά ώστε να υπάρχει ισορροπία με την υγρασία του περιβάλλοντος. Η σταδιακή αυτή μεταβολή συνεπάγεται το ξύλο να κινείται σε φορά αντίθετη από την αρχική του σύνθεση και να σκεβρώνει. Ο τρόπος με τον οποίο έχει κοπεί το ξύλο επηρεάζει το βαθμό και το είδος ρίκνωσης και την δημιουργία ρωγμών (Unger *et al.* 2001).

Ο ξύλινος πυρήνας παρουσιάζει φθορές από ξυλοφάγα έντομα αλλά και αλλοιώσεις από τις συνεχείς μεταβολές υγρασίας και θερμοκρασίας. Τα έντομα ευνοούνται επίσης από την υψηλή υγρασία και δρουν περισσότερο σε υγροσκοπικά τα οποία έχουν την τάση να διατηρούν την υγρασία. Οι μύκητες έχουν διάφορες μορφές και δρουν στο ξύλο σε πολύ υψηλά ποσοστά υγρασίας και κυρίως στα περισσότερο υγροσκοπικά ξύλα όπως τα κωνοφόρα. Οι μύκητες μπορεί να δρουν επιφανειακά, να επηρεάζουν το χρώμα του ξύλου, την υφή ή και τη μηχανική του αντοχή με αποτέλεσμα απώλειες (Unger *et al.* 2001).

Ο ανθρώπινος παράγοντας είναι επίσης καθοριστικής σημασίας και βασικός υπεύθυνος για λανθασμένους χειρισμούς που έχουν ως αποτέλεσμα μηχανικές καταπονήσεις. Η πτώση ενός τέτοιου έργου τέχνης μπορεί να αποβεί καταστρεπτική και ο χειρισμός τους χρήζει ιδιαίτερης προσοχής. Οι καλλιτέχνες που έχουν κατασκευάσει τέτοιου είδους αντικείμενα δίνουν βαρύτητα στην μεγάλη βάση έδρασης ώστε να μειώσουν τις πιθανές φθορές από πτώσεις.

Τα μεταλλικά στοιχεία στο πλαίσιο των σταυρών, ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους, υπόκεινται σε φθορές οι οποίες επηρεάζουν το έργο τέχνης. Η διάβρωση ορίζεται ως η φθορά ή

η αλλοίωση του μετάλλου ως συνεπεία χημικών ή ηλεκτροχημικών αντιδράσεων από το περιβάλλον. Η έναρξη του φαινομένου γίνεται στην επιφάνεια του μετάλλου. Οι βασικότερες συνέπειες της διάβρωσης είναι η μείωση της αντοχής του μετάλλου, η αύξηση των τάσεων και η αύξηση της ταχύτητας της διάβρωσης στην επιφάνεια (Vassiliou *et al.* 2013).

Από την επιτόπια μου παρατηρήσει διακρίνω με ευχέρεια ότι τα έξεργα διακοσμητικά περιμετρικά των σταυρών σε κάποια σημεία έχουν αποκολληθεί ή έχουν υποστεί φθορές και μηχανικές αλλοιώσεις. Στα κοράλλια και τα μαργαριτάρια παρατηρούνται είτε ρωγματώσεις είτε σε άλλες περιπτώσεις απώλεια τμήματος.

Οι σταυροί ευλογίας ή αγιασμού είναι ιδιαίτερα ευπαθείς και σπάνια αντικείμενα. Διατρέχουν κίνδυνο με οποιαδήποτε απότομη και άσκοπη μετακίνηση. Ο τρόπος κατασκευής και διακόσμησης τους λειτουργεί αποτρεπτικά σε οποιαδήποτε αλλαγή έδρασης. Δεν κάνει να αναποδογυρίζονται ή να ακουμπάνε με άλλη πλευρά λόγω των έξεργων ανάγλυφων διότι διατρέχουν κίνδυνο καταστροφής.

Λόγω της ευπάθειας των αντικειμένων, δεν θα μελετηθεί στη παρούσα εργασία το κάτω μέρος της βάσης των αντικείμενων

## 1.3 Τρισδιάστατη Ψηφιοποίηση

### 1.3.1 Η ψηφιοποίηση στην Πολιτιστική Κληρονομιά

Η έννοια της πολιτισμικής κληρονομιάς υποδηλώνει τη συνεχή σχέση του ανθρώπου με το παρελθόν, μια προσπάθεια ερμηνείας του και μια τάση ανάπτυξης ενός ουσιαστικού διαλόγου για την πολιτιστική και κοινωνική διάστασή του στο παρόν και στο μέλλον. Υποδηλώνει ακόμα μια διαδικασία εκπαίδευσης, ψυχαγωγίας και αυτοπραγμάτωσης σε ατομικό επίπεδο, αλλά και ενδυνάμωσης των δεσμών μεταξύ λαών και κρατών σε παγκόσμιο επίπεδο (Κόνσολα 1995).

Η επαφή με έργα τέχνης και με τον τόπο προέλευσης τους, αποτελεί σημαντικό κομμάτι της εκπαιδευτικής διαδικασίας, από το σχολείο ακόμη, αλλά και της δια βίου μάθησης κάθε ατόμου. Παρόλα αυτά, η πρόσβαση είναι περιορισμένη, κυρίως λόγω γεωγραφικών και οικονομικών αιτιών (Ραβανή 2018).

Πολλά μνημεία δεν είναι ανοιχτά στο κοινό, είτε είναι ανοιχτά για μικρό χρονικό διάστημα, είτε είναι απομακρυσμένα και δύσκολα προσβάσιμα. Οι αιτίες είναι διάφορες, όπως για παράδειγμα λόγω φθορών που έχουν υποστεί (από φυσικές καταστροφές, καιρικές συνθήκες κ.λπ.), συνεπώς είναι απαραίτητη η προσέγγιση και η μελέτη τους με άλλους τρόπους (Ραβανή 2018).

Η αναγνώριση της σημασίας, αλλά και της οικουμενικότητας της πολιτιστικής μας κληρονομιάς απαιτεί την ενεργοποίηση της διεθνούς κοινότητας, ώστε να ευαισθητοποιήσει όλους τους πολίτες. Στην προσπάθεια αυτή, έχει συμβάλει η ανάπτυξη της τεχνολογίας.

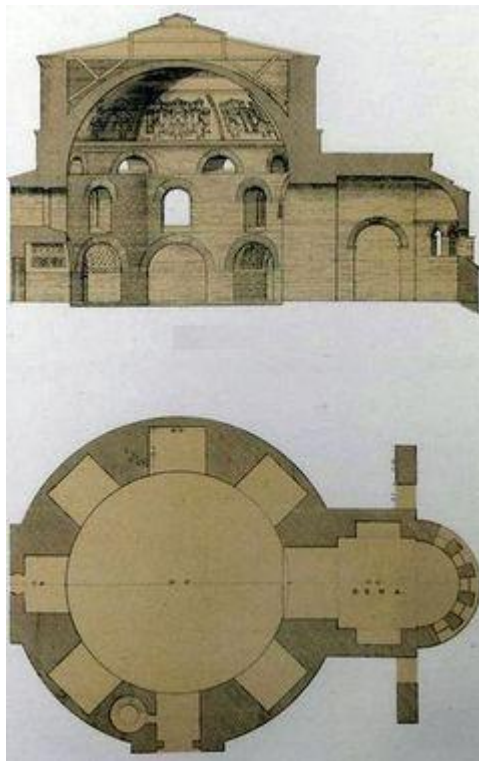
Η νέα ψηφιακή εποχή, έδωσε τη δυνατότητα ανοιχτής πρόσβασης σε τεράστιο όγκο πληροφοριών. Ο τρόπος πλοήγησης σε τόσο μεγάλη ποσότητα πληροφορίας είναι αρκετά δύσκολος. Ο πολλαπλασιασμός των ψηφιακών μέσων σε συνδυασμό με τις τεχνικές 3D ανακατασκευής, με την ανάγκη αρχειοθέτησης αυτών των πληροφοριών και της εύκολης πρόσβασης, είχε ως αποτέλεσμα να τεθούν οι βάσεις εφαρμογής αντίστοιχης τεχνολογίας και σε άλλους τομείς. Μετά το 1990 η τεχνολογία των υπολογιστών εξελίχθηκε σε ένα εργαλείο δουλειάς και προσανατολίστηκε στην επίλυση προβλημάτων διαχείρισης δεδομένων. Αρχαιολογικά προβλήματα μελέτης του παρελθόντος αντιμετωπίστηκαν μέσω της επιστήμης των υπολογιστών (Ραβανή 2018).

Το πεδίο αυτό ονομάστηκε Εικονική Αρχαιολογία (Virtual Archaeology). Αφορά κυρίως στην ανάλυση των διαδικασιών διαχείρισης και παρουσίασης αρχαιολογικών στοιχείων μέσω τεχνικών τρισδιάστατης απεικόνισης σε υπολογιστή (Stanco *et al.* 2017) ενώ παράλληλα στοχεύει

στην ψηφιακή ανακατασκευή αρχαιολογικών αντικειμένων, έργων τέχνης και μνημείων, τόσο για ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς, όσο και για τη συμβολή στη διατήρηση και προστασία της πολιτισμικής κληρονομιάς (Stanco *et al.* 2017).

### 1.3.2 Απεικονιστικές τεχνικές και τεκμηρίωση των έργων τέχνης

Η απεικόνιση των αρχαιοτήτων και έργων τέχνης θεωρείται σημαντική παράμετρος και απαραίτητο βήμα κατά την διαδικασία της τεκμηρίωσης και καταγραφής. Αποτύπωση είναι η απεικόνιση ενός αντικειμένου πάνω σε ένα καθορισμένο υλικό. Σκοπός της αποτύπωσης είναι να δώσει τα καταγεγραμμένα στοιχεία σε όσους ενδιαφέρονται να μελετήσουν ένα αντικείμενο, χωρίς να είναι υποχρεωμένοι ή δεν μπορούν να βρίσκονται σε απευθείας παρατήρηση (Εικ. 11). Λεπτομερή σχέδια αποτύπωσης μνημείων -που σήμερα δεν σώζονται και έχουν καταστραφεί ολοσχερώς – αποτελούν μοναδικές πολύτιμες μαρτυρίες. Η διαδικασία αποτύπωσης του αντικειμένου με οπτικά μέσα ξεκίνησε από τις αρχές του 19ου αιώνα (Στάρα- Γαλερίδου 1989).



*Εικόνα 11: Κάτοψη και τομή κατά μήκος Αγίου Γεωργίου Ροτόντας Θεσσαλονίκης, Διαδικτυακή πηγή: Βυζαντινή Αθήνα*

Με την δημιουργία και την διάδοση της φωτογραφίας τον 19ο αιώνα, οι παλιές ασπρόμαυρες φωτογραφίες αποτελούν σήμερα πολύτιμα τεκμήρια, καθώς αποκαλύπτουν αθέατες πτυχές από μνημεία, έργα και στιγμές του παρελθόντος, που σε πολλές περιπτώσεις δεν διατηρήθηκαν ή δέχθηκαν επεμβάσεις που αλλοίωσαν τον αρχικό τους χαρακτήρα. Οι



φωτογραφίες λειτουργούν ως μέσο αποτύπωσης, ειδικά σε δύσκολες περιόδους, που δεν υπάρχει χρόνος για αναλυτική σχεδίαση. Η φωτογραφική τεκμηρίωση αύξησε το ενδιαφέρον της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας, ενώ δημιουργήθηκαν τομείς εφαρμογής σε διάφορους κλάδους. Ένας από τους κλάδους που αναπτύχθηκε λόγω της εξάπλωσης της φωτογραφίας ήταν η φωτογραμμετρία. Ο τρόπος μέτρησης και συλλογής στοιχείων καθορίζει τη μέθοδο αποτύπωσης, η οποία στο παρελθόν διαχωριζόταν στις εξής κατηγορίες: την αποτύπωση με παραδοσιακά μέσα και την αποτύπωση με σύγχρονες τοπογραφικές και φωτογραμμετρικές μεθόδους (Στάρα- Γαλερίδου 1989).

Πλέον η αποτύπωση των αντικειμένων είναι αναπόσπαστο κομμάτι στη καταγραφή έργων τέχνης, καθώς μπορούν να διατηρήσουν σημαντικές πληροφορίες στο πέρασμα του χρόνου χωρίς να δέχονται αλλοιώσεις από εξωτερικούς παράγοντες.

Στην συντήρηση έργων τέχνης, κάθε δελτίο συντήρησης συνοδεύεται από μια φωτογραφία του αντικειμένου. Αν το αντικείμενο είναι ιδιαίτερης σημασίας ή σπανιότητας πολλές φορές γίνεται και προσπάθειά 3D αναπαράστασης του, προκειμένου να διασωθεί, να δημοσιευτεί και να μελετηθεί χωρίς να υπάρχει φόβος να καταστραφεί. Παρακάτω θα δούμε με ποιο τρόπο κάποιος μπορεί να παράξει 3D μοντέλο και πώς να αντιμετωπίσει τυχόν προβλήματα που μπορούν να εμφανιστούν κατά την διαδικασία παραγωγής του (Μαστροθεόδωρος 2021).

### 1.3.3 Μέθοδοι μοντελοποίησης και τρισδιάστατης αποτύπωσης

Με τον όρο τρισδιάστατη ψηφιοποίηση εννοούμε τη μετατροπή ενός φυσικού αντικειμένου ή χώρου σε πιστό ψηφιακό αντίγραφο. Το ψηφιακό αυτό αντίγραφο περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που αποτελούν το φυσικό πρωτότυπο, όπως είναι η γεωμετρία και η υφή, και έχουμε τη δυνατότητα επισκόπησής του από όλες τις οπτικές γωνίες, χωρίς περιορισμούς.

Το κάθε αντικείμενο – όντας μοναδικό – απαιτεί μια διαφορετική προσέγγιση και ανάλογη μέθοδο. Το υλικό κατασκευής, ο χώρος που βρίσκεται (κινητό ή ακίνητο), καθώς και τα εργαλεία που έχει κάποιος διαθέσιμα, επηρεάζουν την μέθοδο και τον τρόπο προσέγγισης. Υπάρχουν περιπτώσεις που καμία μέθοδος δεν μπορεί να δημιουργήσει ένα καλό τελικό αποτέλεσμα.

Η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση είναι μια τεχνική που αναπτύσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια σε όλο τον κόσμο. Ένας από τους τομείς που αναπτύσσεται έχει ως σκοπό την τεκμηρίωση και την διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι τρισδιάστατες ψηφιοποιήσεις υψηλής ευκρίνειας μνημείων, αντικειμένων και χώρων επιτρέπουν την περαιτέρω παρακολούθηση, μελέτη και διάδοση ιστορικών κειμηλίων. Επιπλέον, δρουν ως ένα δίκτυο ασφαλείας απέναντι σε φυσικές και μη καταστροφές ή βλάβες, καθώς αρχειοθετείται ψηφιακά το πιστό αντίγραφο του

πρωτοτύπου. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα πιστής αναπαράστασης του αρχικού αντικειμένου ή χώρου (Παυλίδης *et al.* 2014).

Σύμφωνα με τους Παυλίδη (2014), υπάρχουν δεκαπέντε (15) διαθέσιμες μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης στην εποχή μας:

1. **Σάρωση με ακτίνες λέιζερ (laser triangulation):** Μία μέθοδος λήψης μετρήσεων σε τρεις διαστάσεις (X,Y,Z) με την χρήση κάμερας και δέσμης λέιζερ, όπου είναι δυνατό να μετρηθούν οι διαφορές βάθους χρησιμοποιώντας τριγωνομετρία.
2. **Σχήμα από δομημένο φωτισμό (shape from structured light):** Μια τεχνολογία οπτικής μέτρησης, όπου χρησιμοποιεί μια στενή δέσμη φωτός που συλλέγεται από μια κάμερα και παρατηρώντας τις παραμορφώσεις στο μοτίβο που προβάλλεται δημιουργεί μια γεωμετρική ανακατασκευή της επιφάνειας του αντικειμένου.
3. **Σχήμα από σιλουέτες (shape from silhouette):** Μια διαδικασία με λήψη φωτογραφιών ενός αντικειμένου, όπου αξιοποιούμε την σιλουέτα του αντικειμένου για να υπολογίσουμε την γεωμετρία του.
4. **Σχήμα από στερεοφωτογράφιση (shape from stereo):** Μια διαδικασία που συλλέγει τις πληροφορίες της γεωμετρίας από τα σημεία έντασης πάνω σε 2 ή και περισσότερες εικόνες, από διαφορετικές οπτικές γωνίες, με την χρήση κανόνων στερεοσκοπικής όρασης.
5. **Σχήμα από κίνηση (shape/structure from motion):** Αναγνώριση της τρισδιάστατης δομής του αντικειμένου από ένα σύνολο δισδιάστατων εικόνων με αντιστοίχιση σε δύο ή περισσότερες όψεις, με την χρήση κανόνων στερεοσκοπικής όρασης.
6. **Σχήμα από φωτοσκίαση (shape from shading):** Η παρατήρηση της γεωμετρίας του αντικειμένου κάτω από διαφορετικές συνθήκες ελεγχόμενου φωτισμού και καταγραφή σε πλήθος δισδιάστατων φωτογραφιών για την δημιουργίας της τρισδιάστατης δομής.
7. **Σχήμα από υφή (shape from texture):** Ανάκτηση πληροφορίας τρίτης διάστασης σε δισδιάστατες φωτογραφίες με την εκμετάλλευση πληροφορίας προσανατολισμού και της επιφάνειας.
8. **Σχήμα από φωτομετρία (shape from photometry):** Μέθοδος λήψης δισδιάστατων φωτογραφιών, υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού και ανάκτηση τρισδιάστατης γεωμετρίας, μέσω αλγορίθμων οπτικής αναγνώρισης.
9. **Σχήμα από μεταβαλλόμενη εστίαση (shape from focus):** Ανάκτηση τρίτης διάστασης σε επιφάνειες, μέσω σειράς δισδιάστατων φωτογραφιών, με ελεγχόμενα μεταβαλλόμενη εστίαση.

10. **Σχήμα από σκιά (shape from shadow):** Ανάκτηση γεωμετρίας μέσω παρακολούθησης της σκιάς σε διαδοχική δισδιάστατη φωτογράφιση, σε συνθήκες όπου υπάρχει μετακινούμενη πηγή φωτός.
11. **Σάρωση με συστήματα αφής (measuring systems):** Ανάκτηση γεωμετρίας μέσω συνεχούς επαφής ειδικού αισθητηρίου αφής με το αντικείμενο που ψηφιοποιείται.
12. **Εμπειρικές ή τοπομετρικές μέθοδοι:** Ανάκτηση γεωμετρίας με μηκομετρήσεις τριγώνων (τριπλευρισμούς), διαγώνιων, πλευρών, αποκλίσεων και υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιώντας νήμα στάθμης, αλφαδολάστιχο και μετροταινία.
13. **Τοπογραφικές μέθοδοι:** Τυπικές μέθοδοι ανάκτησης γεωμετρίας με χρήση τοπογραφικών οργάνων, όπως ο θεοδόλιχος, τα αποστασιόμετρα, οι γεωδαιτικοί σταθμοί.
14. **Φωτογραμμετρία:** Μέθοδοι ανάκτησης γεωμετρίας μέσω καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και άλλων προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
15. **Σάρωση με λέιζερ πεδίου:** Ανάκτηση γεωμετρίας χώρου από μέτρηση του χρόνου πτήσης (διαφορά χρόνου αποστολής από το χρόνο επιστροφής λόγω ανάκλασης) δέσμης λέιζερ (είτε στο ορατό είτε στο υπέρυθρο φάσμα).

Η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση αποτελείται από πολλαπλά βήματα διαδικασιών και παρουσιάζει διαφοροποιήσεις, ανάλογα με το αντικείμενο της ψηφιοποίησης, το σκοπό της και την εφαρμογή. Λόγω της πολυπλοκότητας των αναγκών που προκύπτουν από τα ίδια τα αντικείμενα της ψηφιοποίησης, υπάρχει σήμερα μια πληθώρα μεθοδολογιών και τεχνολογιών. Ο στόχος κάθε τεχνικής είναι να αντιμετωπίσει με επιτυχία τα θέματα που αφορούν τόσο στην τρισδιάστατη ψηφιοποίηση ενός συγκεκριμένου τύπου αντικειμένων ή χώρων, όσο και στην ικανοποίηση συγκεκριμένων αναγκών και στόχων ενός συγκεκριμένου έργου ψηφιοποίησης (π.χ. πλήρης αποτύπωση, αποτύπωση για προβολή, αποτύπωση για τουριστική εκμετάλλευση, κ.ο.κ.).

Το ακανόνιστο τριγωνικό πλέγμα (*Triangular Mesh*) αποτελεί μία από τις πλέον δημοφιλείς τεχνικές απόδοσης 3D αντικειμένων, εξαιτίας του χαρακτηριστικού των τριγώνων να ορίζουν πάντα ένα επίπεδο (συνεπίπεδες κορυφές). Το χαρακτηριστικό αυτό παίζει σημαντικό ρόλο για τους αλγορίθμους φωτοσκίασης (*Rendering*), ανίχνευσης συγκρούσεων (*Collision detection*) και γεωμετρικής αποκοπής (*Clipping*). Είναι γεγονός πως οποιοδήποτε ανάγλυφο της επιφάνειας ενός αντικειμένου μπορεί να προσεγγιστεί από ένα πλήθος τριγώνων. Το ακανόνιστο τριγωνικό πλέγμα αποτελεί συνήθως ένα από τα βασικότερα παράγωγα του πρωτογενούς υλικού ενός συστήματος 3D σάρωσης. Η δομή δεδομένων (*Data Structure*) ενός τριγωνικού πλέγματος περιλαμβάνει την επιπρόσθετη πληροφορία της οργάνωσης των κορυφών σε τριάδες. Η

πληροφορία αυτή μπορεί να αποθηκευτεί είτε ως συμπληρωματική της πληροφορίας των συντεταγμένων των κορυφών (ορίζοντας την τριάδα κορυφών που σχηματίζουν ένα τρίγωνο) είτε εκφράζοντας ανεξάρτητα τις συντεταγμένες των κορυφών του κάθε τριγώνου, αγνοώντας την ύπαρξη κοινών κορυφών. Η δεύτερη προσέγγιση είναι γνωστή ως ακατέργαστη (*Raw*) και είναι πλέον ξεπερασμένη, αφού χαρακτηρίζεται ως ασύμφορη.

Τα τελευταία χρόνια η AI (*Artificial Intelligence*) έχει μπει δυναμικά σε πολλούς τεχνολογικούς τομείς. Ένας από τους τομείς είναι τα 3D. Συνεχώς προστίθενται καινούργιες μέθοδοι αποτύπωσης, που κανείς είναι αδύνατον να τις παρακολουθήσει. Οι δύο από τις πιο σημαντικές μεθόδους που αξίζει να αναφέρουμε στην παρούσα πτυχιακή είναι τα NeRF και τα Gaussian Splatting. Οι δύο τεχνικές αυτές υπόσχονται ικανοποιητικά και γρήγορα αποτελέσματα. Η έμφαση μας θα δοθεί σε μια από τις δύο μεθόδους, τα NeRF. Τα NeRF (*Neural Radiance Fields*) είναι μια επαναστατική τεχνολογία απεικόνισης τρισδιάστατων σκηνών, που χρησιμοποιεί τη μηχανική μάθηση (*Machine Learning*) για να δημιουργήσει υψηλής ποιότητας 3D μοντέλα από απλές εικόνες ή βίντεο. Το NeRF είναι μια τεχνική τεχνητής νοημοσύνης που παράγει ρεαλιστικά τρισδιάστατα μοντέλα από 2D φωτογραφίες.

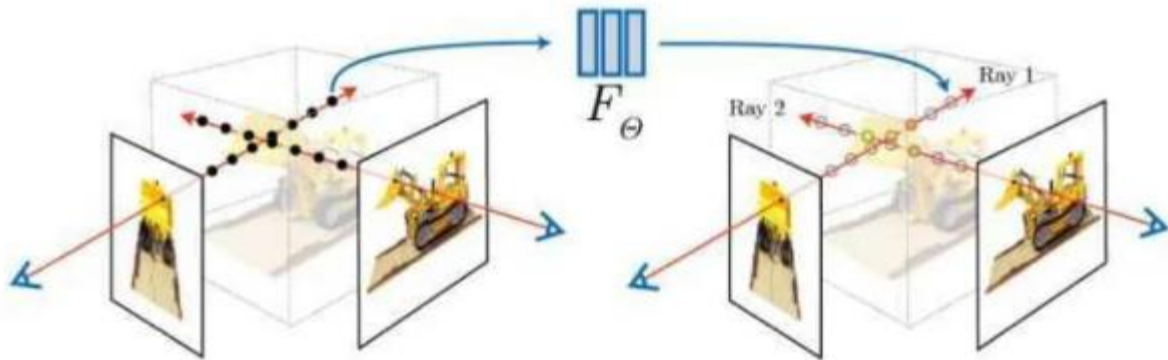
Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούν πιο αναλυτικά οι τρεις μέθοδοι που επιλέχθηκαν να εξεταστούν και συγκεκριμένα η Φωτογραμμετρία και τα Neural Radiance Fields (NeRF) όπως και τις βασικές αρχές που διέπουν την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση.

#### 1.3.4 Ανάλυση της διαδικασίας της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης

Η **τρειςδιάστατη αποτύπωση** είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για να καταγράψει τις πληροφορίες ενός αντικειμένου και να τις αποδώσει σε ένα ψηφιακό αρχείο. Οι πληροφορίες που καταγράφονται σε ένα τέτοιο αρχείο είναι η χρωματική αλλά και σχεδιαστική απόδοση του αντικειμένου, η γεωμετρία με αναλυτικές μετρήσεις, καθώς και η θέση του στο χώρο, με την χρήση διαγραμμάτων και δισδιάστατων απεικονίσεων.



*A NeRF stores a volumetric scene representation as the weights of an MLP, trained on many images with known pose.*



Εικόνα 12: Διάγραμμα διαδικασιών τρισδιάστατης ψηφιοποίησης με NeRF, (Πηγή: MÜLLER Et al.2022)

Η διαδικασία τρισδιάστατης αποτύπωσης είναι μια πολύπλοκη διαδικασία με πολλαπλά προγράμματα δημιουργίας και επεξεργασίας. Αυτά τα προγράμματα βασίζονται σε μια κοινή βάση διαδικασιών με τρεις βασικές φάσεις (Παυλίδης *et al.* 2014):

- Προετοιμασία
- Αποτύπωση δεδομένων
- Επεξεργασία δεδομένων

Η Προετοιμασία αφορά στην μελέτη του περιβάλλοντος, την παρατήρηση των προβλημάτων που θα χρειαστεί να αντιμετωπιστούν και πως να αποφευχθούν όσον αφορά τη τεχνική και την μεθοδολογία, τα εργαλεία που απαιτούνται, αν υπάρχουν προβλήματα σκιάσεων έντονων αντανάκλασεων, καθώς και αντικείμενα που περιορίζουν τη μετακίνηση κατά την φωτογράφιση.

Η Αποτύπωση δεδομένων αφορά στην αποτύπωση των δεδομένων, τη γεωμετρία και την υφή του αντικειμένου, την προεπεξεργασία του αντικειμένου, την σύνταξη τμημάτων φωτογράφισης του αντικειμένου, την μετακίνηση στο επόμενο σημείο αποτύπωσης για να υπάρχει η αλληλοεπικάλυψη των πληροφοριών. Επαναλαμβάνεται μέχρι να γίνει άρτια η αποτύπωση του αντικειμένου.

Η Επεξεργασία δεδομένων αφορά την επεξεργασία των φωτογραφιών σε δύο επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο αφορά στην δημιουργία της γεωμετρίας του μοντέλου, δηλαδή την τριγωνοποίηση, την ενοποίηση των τμημάτων για να δημιουργηθεί ένα άρτιο μοντέλο, την μετεπεξεργασία του μοντέλου. Με την ολοκλήρωση του πρώτου επιπέδου, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής τώρα ξεκινάει να δουλεύει στο δεύτερο επίπεδο. Το δεύτερο επίπεδο αφορά την βαθμονόμηση της πληροφορίας της υψής για να μπορέσει να αποδώσει την επιφάνεια του αντικειμένου και την ανάμειξη της υψής στην πληροφορία της γεωμετρίας. Όταν αυτά τα επίπεδα ολοκληρωθούν, τότε γίνεται η αποτύπωση της υψής πάνω στην γεωμετρία για να παραχθεί το τελικό μοντέλο (Παυλίδης *et al.* 2014).

## 1.4 Επιλεγμένες τεχνικές

### 1.4.1 Φωτογραμμετρία

Η φωτογραμμετρία είναι η επιστημονική περιοχή της τοπογραφίας. Φωτογραμμετρία ονομάζεται η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία για την ανάκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον, μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων, αλλά και προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Καραποστόλου, 2013).

Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές αποτελούν έμμεσους τρόπους καταγραφής της θέσης, του σχήματος και των διαστάσεων των αντικειμένων. Ουσιαστικά αν θέλουμε να το θέσουμε σε απλούς όρους θα λέγαμε πως χρησιμοποιεί εικόνες για την παραγωγή μετρητικής πληροφορίας και γνώσης από επιστημονικές περιοχές όπως (Καραποστόλου, 2013):

- Τοπογραφία
- Ψηφιακή επεξεργασία της εικόνας
- Οπτικής
- Ηλεκτρομαγνητισμού
- Συνορθώσεων Παρατηρήσεων (στατιστικής)
- CAD
- Χαρτογραφίας

Για να πραγματοποιηθεί η φωτογραμμετρία χρειάζεται να υπάρχει απόδοση μεγάλου πλήθους φωτογραφιών, ισοϋψείς καμπύλες ή αποτύπωση έντονου ανάγλυφου και απαιτείται φωτογραφική και (ταυτόχρονη) γεωμετρική αποτύπωση.

## 1.4.2 Ψηφιακή Φωτογραμμετρία

Ψηφιακή Φωτογραμμετρία ονομάζεται μια ιδιαίτερη μέθοδος/τεχνική προσδιορισμού διαστάσεων αντικειμένων με χρήση φωτογραφιών. Βασίζεται στις μεθόδους αναλυτικής φωτογραμμετρίας, στην ψηφιακή επεξεργασία της εικόνας και την όραση των υπολογιστών. Είναι μια αυτοματοποιημένη διαδικασία που χρειάζεται έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή με αρκετή υπολογιστική δύναμη για επεξεργασία δεδομένων και τον χειριστή να εισάγει τα δεδομένα μέσα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για να δημιουργήσει ένα ψηφιακό προϊόν. Το προϊόν που παράγεται είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο με δυνατότητα επισκόπησής του από όλες τις οπτικές γωνίες, χωρίς περιορισμούς (Linder W. 2009).

## 1.4.3 Εισαγωγή στα NeRF (Neural Radiance Fields)

Τα NeRF (Neural Radiance Fields) είναι μια επαναστατική τεχνολογία απεικόνισης τρισδιάστατων σκηνών που χρησιμοποιεί τη μηχανική μάθηση (Machine Learning) για να δημιουργήσει υψηλής ποιότητας 3D μοντέλα από απλές εικόνες ή βίντεο. Χρησιμοποιώντας νευρωνικά δίκτυα, μαθαίνει την πυκνότητα και τις χρωματικές πληροφορίες των αντικειμένων σε μια σκηνή και τα αναπαριστά από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Τα NeRF χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα για να ανασυνθέσουν τη σκηνή από τις εικόνες, προβλέποντας το χρώμα του φωτός που ακτινοβολεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Αντί να κατασκευάζουν 3D μοντέλα με παραδοσιακές μεθόδους, τα NeRF εκπαιδεύουν ένα δίκτυο για να μοντελοποιήσει τη γεωμετρία και την ακτινοβολία της σκηνής. Το αποτέλεσμα είναι μια επαναστατική νέα τεχνική, που μπορεί να δημιουργήσει 3D αναπαραστάσεις σχεδόν φωτορεαλιστικής ακρίβειας από εικόνες χαμηλής και υψηλής ποιότητας, προσφέροντας πρωτοφανή ευκρίνεια και ρεαλισμό (Mildenhall *et al.* 2020).

Η ιστορία των NeRF ξεκίνησε πριν αρκετές δεκαετίες, το 1908, από μια θεωρητική ιδέα που πρότεινε ο βραβευμένος με Νόμπελ φυσικός Gabriel Lippmann. Η ιδέα του ήταν η καταγραφή του ορατού πεδίου σε οκτώ διαστάσεις. Η ιδέα ήταν ιδιαίτερη και προερχόταν από την παρατήρηση των ματιών των εντόμων. Ήταν μια πρωτοπόρα ιδέα που πιθανόν δεν ολοκληρώθηκε κατά την διάρκεια της ζωής του (Mildenhall *et al.* 2020).

Στο άρθρο των Mildenhall (2020) παρουσιάζεται μια μέθοδος που επιτυγχάνει κορυφαία αποτελέσματα για την σύνθεση καινοτόμων όψεων, πολύπλοκων σκηνών και τις βελτιστοποιεί σε μια συνεχόμενη ογκομετρική σκηνή λειτουργίας, χρησιμοποιώντας ένα διάσπαρτο νέφος προβολών από διαφορετικές όψεις.

Ωστόσο, η μέθοδος NeRF απαιτεί συνήθως εικόνες υψηλής ποιότητας και πολλαπλές προοπτικές λήψεις για να λειτουργήσει αποτελεσματικά. Το σημαντικό αυτής της τεχνολογίας είναι η μετατροπή μια συλλογής ακίνητων εικόνων σε ψηφιακή τρισδιάστατη σκηνή μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Γνωστή ως *αντίστροφο rendering*, η διαδικασία χρησιμοποιεί τεχνητή νοημοσύνη για να προσεγγίσει πώς συμπεριφέρεται το φως στον πραγματικό κόσμο, επιτρέποντας την ανασύνθεση μιας τρισδιάστατης σκηνής από μια χούφτα δισδιάστατων εικόνων που λαμβάνονται από διαφορετικές γωνίες, οι οποίες φυσικά δεν καλύπτουν κάθε πιθανή άποψη του θέματος (Mildenhall *et al.* 2020).

Η ερευνητική ομάδα της NVIDIA έχει αναπτύξει μια προσέγγιση που ολοκληρώνει αυτό το έργο σχεδόν αμέσως — καθιστώντας το ένα από τα πρώτα μοντέλα του είδους του που συνδυάζει εξαιρετικά γρήγορη εκπαίδευση νευρωνικών δικτύων και ταχεία απόδοση. Η ομάδα της NVIDIA αναφέρει: «Ενώ η εκτίμηση του βάθους και της εμφάνισης ενός αντικειμένου με βάση μια μερική όψη είναι μια φυσική δεξιότητα για τον άνθρωπο, είναι μια απαιτητική εργασία για την τεχνητή νοημοσύνη. Η τεχνολογία Instant NeRF μειώνει τον χρόνο μετατροπής κατά πολύ, χρησιμοποιώντας την τεχνική της NVIDIA, multi-resolution hash grid encoding, η οποία είναι βελτιστοποιημένη για GPU της NVIDIA». Η NVIDIA ισχυρίζεται ότι το Instant NeRF είναι η ταχύτερη τεχνολογία του είδους της – τουλάχιστον μέχρι σήμερα – επιτρέποντας πολλαπλασιαστική επιτάχυνση πάνω από 1000x σε ορισμένες περιπτώσεις, έτσι ώστε η απόδοση στα 1080p να γίνεται σε λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου (Εικ. 13) (MÜLLER *et al.* 2022).

Τα NeRF μπορούν να καταγράψουν τρισδιάστατες σκηνές με υψηλή πιστότητα, αλλά δεν προσφέρουν τόσο σαφείς αναπαραστάσεις σχήματος, χρώματος και υλικού όπως κάνουν τα πλέγματα. Αυτό καθιστά δύσκολη τη διάκριση αυτών των χαρακτηριστικών στην έξοδο. Συνεπώς, οι ανακατασκευές εμφανίζονται θολές και με αρκετό θόρυβο, λόγω της χαμηλής ανάλυσης και της παραμόρφωσης, καθώς η τεχνολογία τους έχει αρκετούς περιορισμούς και εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν. Το βασικό χαρακτηριστικό της είναι πως μπορεί να συμπληρώσει τα κενά που απαιτούνται, από ένα αποτέλεσμα μιας ελλιπούς δισδιάστατης λήψης μέχρι τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου και μάλιστα σε ελάχιστα δευτερόλεπτα (MÜLLER *et al.* 2022).





Εικόνα 13: Instant NGP by NVIDIA (Πηγή: MÜLLER Et al.2022)

Η Εικόνα 14 δείχνει ένα απλό Νευρωνικό Δίκτυο  $F(\theta)$  που μπορεί να είναι ένα πολυστρωματικό perceptron (MLP) ή MLP με ReLU activation. Το κύκλωμα MLP με ενεργοποίηση ανορθωμένης γραμμικής μονάδας (ReLU) αποτελείται από 2 νευρώνες εισόδου, και 3 κρυμμένους και από 4 νευρώνες εξόδου. Το MLP αποτελείται από 9 επίπεδα που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και έχουν πλάτος 256 (MÜLLER et al. 2022).

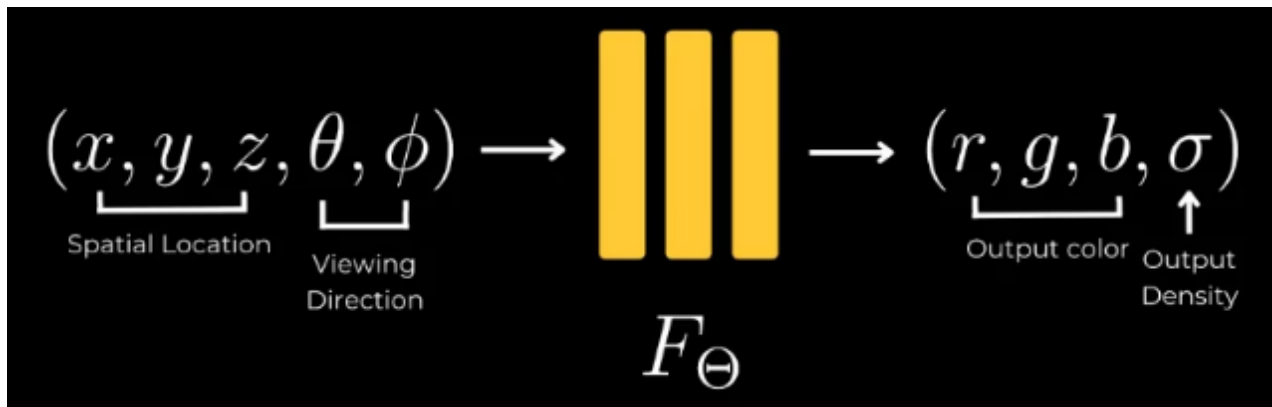
Η εισαγωγή των MLP αποτελείται από 2 ομάδες δεδομένων:

- Τα δεδομένα  $(x,y,z)$  που δηλώνουν τη θέση ενός σημείου σε τρισδιάστατο χώρο.
- Τα δεδομένα  $(\theta \ \& \ \phi)$  που μας δίνουν την δεδομένη κατεύθυνση θέασης του σημείου.
- Τα δεδομένα  $(x,y,z,\theta$  και  $\phi)$  μας δίνουν μια ενιαία και συνεχή συντεταγμένη στις 5 διαστάσεις η οποία εισάγεται στο MLP.

Η έξοδος στο MLP αποτελείται από 2 ομάδες δεδομένων:

- Τα δεδομένα  $(r,g,b)$  που εμφανίζουν την όψη από τα δεδομένα  $(x,y,z)$  καθώς και την κατεύθυνση  $(\theta,\phi)$  στον χρωματικό χώρο RGB.
- Το στοιχείο  $(\sigma)$  μας δηλώνει την πυκνότητα ή την διαφάνεια του σημείου.
- Η τιμή του  $(\sigma)$  βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ του μηδενός έως το άπειρο  $[0,\infty)$ .
- Αν η τιμή του  $(\sigma)$  είναι 0 τότε σημαίνει πως στο σημείο αυτό δεν υπάρχει κάτι ή ότι το σημείο αυτό είναι διαφανές. Αν η τιμή του  $(\sigma)$  είναι  $\infty$  τότε το σημείο αυτό είναι αδιαφανές (Rakshit 2022).

Να σημειωθεί ότι η αρχιτεκτονική αυτής της τεχνικής βεβαιώνει πως το χρώμα που θα εκφράζεται από τα NeRF μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το σημείο παρατήρησης. Επιτρέπει έτσι στα NeRF να αναπαριστούν αντανakλάσεις και γυαλιστερά υλικά, όμως η υποκείμενη γεωμετρία που αναπαρίσταται από το  $\sigma$  είναι μόνο συνάρτηση της θέσης.



Εικόνα 14: Τα δεδομένα εισαγωγής στη φόρμουλα και τα δεδομένα που εξάγει για να παραχθούν τα NeRF, (Rakhsit 2022)

Για να καταλάβουμε όμως και τί είναι τα NeRF (Neural Radiance Field), θα πρέπει να μελετήσουμε ξεχωριστά τις λέξεις, καθώς με μία πρώτη ματιά μπορεί να φανεί αρκετά πολύπλοκο.

- Η λέξη *Neural* σημαίνει ότι εμπλέκεται ένα πολύπλοκο Νευρωνικό Δίκτυο (Neural Network) από πληροφορίες που συλλέγει και αξιοποιεί τα δεδομένα.
- Η λαμπρότητα/ακτινοβολία (*Radiance*) αναφέρεται στη ακτινοβολία της σκηνής που εξάγει το Νευρωνικό Δίκτυο. Ουσιαστικά περιγράφει την ποσότητα του φωτός που εκπέμπεται από ένα σημείο στο χώρο προς κάθε κατεύθυνση.
- Η λέξη *Field* σημαίνει ότι το Νευρωνικό Δίκτυο μοντελοποιεί μια συνεχή και μη-διακριτοποιημένη αναπαράσταση της σκηνής που μαθαίνει και εκπαιδεύεται.

Συνδυάζοντας όλες αυτές τις έννοιες μαζί μπορούμε να πούμε πως τα NeRF είναι Νευρωνικά Δίκτυα που μοντελοποιούν το σημείο και την κατεύθυνση θέασης σε έναν τρισδιάστατο χώρο, σε σχέση με το φως που εκπέμπει το συγκεκριμένο σημείο, από κάθε διαφορετική γωνία θέασης, με ένα μη διακριτό τρόπο. Μας επιτρέπει επίσης να συνθέτουμε πρωτότυπες (νέες) απόψεις περίπλοκων σκηνών, που δεν έχουν καταγραφεί από τις λήψεις.

Θεωρήθηκε σημαντικό να αναφερθεί πως η βιβλιογραφία ήταν λιγοστή, καθώς ο τομέας είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο και η πηγές είναι λιγοστές. Στο GitHub υπάρχει μια επιμελημένη λίστα με ενδιαφέροντα έγγραφα, άρθρα, ομιλίες και εφαρμογές με τίτλο *Awesome Neural Radiance Field*. Προσπαθήσαμε να εντοπίσουμε διάφορα έγγραφα που να λένε πως εφαρμόζουν

τα NeRF σε κειμήλια μικρής κλίμακας, σε αντικείμενα με πολύτιμους λίθους, σε αντικείμενα με έντονες αντανάκλασεις λόγω των υλικών κατασκευής και αντικείμενα με μικροτεχνία. Δεν εντοπίστηκαν τέτοια έγγραφα κατά την έρευνα που πραγματοποιήθηκε. Παρατηρήθηκε πώς τα NeRF συνήθως εφαρμόζονται σε μεγάλους χώρους, κτίρια και αντικείμενα. Οι Mazzacca (2023) δοκίμασαν τα NeRF σε αντικείμενα πολιτισμικής κληρονομιάς. Τα παραδείγματα που αναφέρουν είναι ένα Μαυρωλείο, ένα μεταλλικό άγαλμα και ένα μνημείο που έχει πλέον χαθεί και αξιοποίησαν φωτογραφίες από τουρίστες, δηλαδή μεγάλης κλίμακας αντικείμενα.

Επίσης οι Croce (2024) δοκίμασαν να κάνουν τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα από αντικείμενα πολιτισμικής κληρονομιάς, συγκρίνοντας διαφορετικές τεχνικές τρισδιάστατης αποτύπωσης. Οι δύο τεχνικές που συνέκριναν ήταν η φωτογραμμετρία και τα NeRF. Τα αντικείμενα στα οποία έγιναν οι δοκιμές ήταν ένας ιστορικός δρόμος στην Volterra της Ιταλίας, μια λίθινη σόμπα και ένας καθρέφτης από το παλάτι Voileau.

Δεν καταφέραμε να εντοπίσουμε στην βιβλιογραφία να γίνονται δοκιμές σε μικρής κλίμακας έργα τέχνης.

Στην παρούσα πτυχιακή θέλαμε να εφαρμόσουμε κάτι πιο συγκεκριμένο που δεν έχει ακόμα δοκιμαστεί. Σε πολύπλοκα μικρογραφικά αντικείμενα είναι εξαιρετικά δύσκολο να δημιουργηθούν τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα χωρίς την χρήση ειδικού 3D σαρωτή. Μικρής κλίμακας αντικείμενα με μικρογραφικές παραστάσεις, πολύτιμους και ημιπολύτιμους λίθους και μεταλλικές επιφάνειες αποτελούν ένα δύσκολο εγχείρημα ακόμα και για μια νέα πολλά υποσχόμενη τεχνολογία. Ο λόγος αυτός μας οδήγησε να επιχειρήσουμε να δημιουργήσουμε 3D μοντέλα από σταυρούς ευλογίας και αγιασμού που έχουν πολύπλοκη και με πολλές λεπτομέρειες διακόσμηση.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1 Συνοπτική μεθοδολογία της εργασίας

Σε όλη τη διάρκεια των αναλύσεων, πραγματοποιήθηκε καταγραφή της μεθοδολογίας εργασίας και των διεργασιών που διεξήχθησαν για τους σταυρούς ευλογίας. Καταγράφηκαν οι πολλαπλές δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά την διάρκεια του εγχειρήματος.

Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν αρχικά τρία αντίγραφα μικρογραφικών σταυρών αγιασμού, ως στοιχεία ελέγχου, που ανήκουν στην επονομαζόμενη Α ομάδα. Τα αντίγραφα αυτά προέρχονται από την μονή Κουδουμά και χρησίμευσαν ως δοκίμια προκειμένου να επιλεγεί η ενδεδειγμένη μέθοδος προσεγγιστικής διαδικασίας. Τα τρία δοκίμια έχουν την ίδια παράσταση σε χαμηλό ανάγλυφο αλλά σε διαφορετικό υλικό (ρητίνη & κράμα μετάλλων) και διαφορετικό διάκοσμο. Οι τρεις αυτές ιδιόζουσες περιπτώσεις βοήθησαν να μελετηθούν τα πιθανά προβλήματα, ώστε να επιλυθούν πριν προβούμε σε ενέργειες στα ίδια τα αντικείμενα πολιτιστικής και θρησκευτικής κληρονομιάς.

Η ομάδα Β έχει τρεις αυθεντικούς σταυρούς ευλογίας. Κάθε σταυρός επιλέχθηκε με γνώμονα τη διαφορετικότητα του. Τα υλικά και ο τρόπος κατασκευής είναι διαφορετικά, καθώς ο ένας έχει ζωγραφικό στρώμα και απλό σχήμα, ο δεύτερος είναι μεταλλικός και εκτός από ανάγλυφα έχει και εγχάρακτη λεπτή διακόσμηση, η οποία από μόνη της παρουσιάζει ιδιόζουσες δυσκολίες, καθώς η ψηφιακή μοντελοποίηση της αποτελεί δύσκολο εγχείρημα για τα προγράμματα. Ο τελευταίος σταυρός, που ανήκει στην συλλογή του Ιστορικού Μουσείου Κρήτης, αποτέλεσε και το πλέον δύσκολο αντικείμενο.

Η τρισδιάστατη ψηφιακή αποτύπωση ή αλλιώς τρισδιάστατη ψηφιοποίηση είναι μια σύγχρονη μέθοδος αποτύπωσης και καταγραφής. Τα μεταδεδομένα που προκύπτουν από τις εργασίες, οι λεπτομέρειες που αναδεικνύονται στο κάθε έργο, καθώς και τα νέα στοιχεία που έρχονται στο φως, επεκτείνουν τις γνώσεις μας για ξεχασμένες τεχνικές κατασκευής (ή και συντήρησης) του παρελθόντος. Η μελέτη και η παρατήρηση ενός έργου τέχνης μικρών διαστάσεων, χωρίς να επέμβουμε στο αυθεντικό και χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση ή μετακίνηση λόγω ιδιαίτερης ευαισθησίας των μικρογραφικών ανάγλυφων παραστάσεων, είναι σημαντικό ζητούμενο. Η μελλοντική εκμετάλλευση του ψηφιακού αρχείου από τον υπεύθυνο φορέα ή από ερευνητές (αρχαιολόγους, ιστορικούς, καλλιτέχνες, συντηρητές, κ.λπ.), διασφαλίζει τη διατήρηση του αυθεντικού έργου.

## 2.2 Περιγραφή Αντικειμένων Ομάδας Α

### 2.2.1. Ομάδα Α: Σταυροί αγιασμού -Νεότεροι

Η ομάδα Α αποτελείται από τρεις σταυρούς νεότερης κατασκευής, οι οποίοι ανήκουν σε ιδιωτική συλλογή. Οι σταυροί αποτελούν ειδική παραγγελία, καθώς κατασκευάστηκαν ως ενθύμιο από την επιστροφή μέρους των λειψάνων του Αγίου Κοσμά του Ερημίτη από την Ιταλία. Οι σταυροί έχουν το ίδιο θέμα, όμως τα υλικά κατασκευής τους είναι διαφορετικά. Επιλέχθηκαν προκειμένου να γίνουν όλες οι πρώτες δοκιμές για τα 3D και να παρατηρήσουμε την διαφορετικότητα των υλικών, πόσο πιο εύκολα ή δύσκολα μπορούν να αποδοθούν. Οι νεότεροι σταυροί δεν έχουν την πατίνα του χρόνου πάνω τους και διατηρούν ακόμα την γυαλιστερή τους επιφάνεια. Σε συνδυασμό με τα υαλώματα και το χαμηλό ανάγλυφο, αποδείχθηκαν ιδιαίτερα δύσκολες περιπτώσεις.

### 2.2.2 Σταυρός 1



Εικόνα 15: Σταυρός 1, Α ομάδας, επασημωμένος, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη

**Περιγραφή** Ο σταυρός αγιασμού είναι μεταλλικός και φέρει ανάγλυφο διάκοσμο και στις δύο πλευρές. Στην μία όψη απεικονίζεται άγιος ολόσωμος γενειοφόρος. Ο άγιος έχει στραμμένο το κεφάλι του προς τα πάνω και δεξιά, όπου εμφανίζεται το χέρι του Θεού να ευλογεί εν μέσω νεφών με εγχάρακτη επιγραφή IC XC. Στο αριστερό τμήμα της οριζόντιας κεραιάς : 'Ο Α. ΚΟΣΜΑΣ και στο δεξί τμήμα : Ο ΕΡΗΜΙΤΗΣ Κ ΟΜΟΛΟΓΗΤΗΣ'. Ο Άγιος πατά με γυμνά πόδια στο έδαφος,

ενώ μπροστά εγχάρακτη η θάλασσα. Στο δεξί του χέρι κρατεί ράβδο που απολήγει στην κορυφή σε σταυρό. Φέρει ένδυμα στην οσφύ, ενώ με το αριστερό του χέρι δείχνει τον ουρανό. Η μορφή του Αγίου και η χειρ Θεού έχουν επιχρυσωθεί. Στην ένωση των κεραιών τέσσερις πράσινες κυκλικές υαλόμαζες, εντός σχηματοποιημένου διάτρητου άνθους, με μυτερή μεταλλική σφαιρική απόληξη. Στο κέντρο του κάθε άκρου κεραίας σε μεταλλικό διάτρητο πλαίσιο κόκκινη ρομβοειδής υαλόμαζα (Εικ. 15).

Στην άλλη όψη, στο κέντρο του σταυρού ένας περίτεχνος ανάγλυφος σταυρός με τέσσερις ρόδακες περιμετρικά, στο άκρο κάθε κεραίας. Ο σταυρός και οι ρόδακες έχουν επιχρυσωθεί. Στα σημεία ένωσης των κεραιών φύονται σπειροειδείς βλαστοί. Στο περίγραμμα τέσσερις κόκκινες κυκλικές υαλόμαζες στις ενώσεις των κεραιών, ενώ σε κάθε άκρο κεραίας σε μεταλλικό πλαίσιο γαλάζια ρομβοειδής υαλόμαζα. Η λαβή είναι τετράγωνης διατομής και η βάση τετράγωνη με τέσσερις άνισες βαθμίδες. Στην κάτω πλευρά της βάσης υπάρχει χαραγμένη η επιγραφή: “ΕΝΘΥΜΙΟ ΤΟΥ ΟΣΙΟΥ ΚΟΣΜΑ ΤΟΥ ΕΡΗΜΙΤΗ Ι.Μ. ΚΟΥΔΟΥΜΑ 2019”. Ο σταυρός αποτελεί ενθύμιο από την επιστροφή μέρους των λειψάνων του από την Βενετία.

**Υλικά κατασκευής:** Ασήμι, επιχρυσωμένο, υαλόμαζες κόκκινες, πράσινες και μπλε.

**Διαστάσεις:** Ύψος: 16.5 cm, Πλάτος: 9 cm, Πάχος σταυρού: 1 cm, Πάχος Βάσης: 4.5 cm, Πλάτος Βάσης: 5.5 cm.

**Προέλευση:** Ιδιωτική Συλλογή

### 2.2.3 Σταυρός 2



Εικόνα 16: Σταυρός 2, Α ομάδας, επιχρυσωμένος, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη

**Περιγραφή:** : Ο σταυρός αγιασμού είναι μεταλλικός και φέρει ανάγλυφο διάκοσμο και στις δύο πλευρές. Αποτελεί τμήμα ενός σύνθετου έργου, αλλά στην συγκεκριμένη πτυχιακή μελετήθηκε χωριστά. Στην μία όψη απεικονίζεται άγιος ολόσωμος ανάγλυφος. Ο άγιος έχει στραμμένο το κεφάλι του προς τα πάνω και δεξιά, όπου εμφανίζεται το χέρι του Θεού να ευλογεί εν μέσω νεφών με εγχάρακτη επιγραφή IC XC. Στο αριστερό τμήμα της οριζόντιας κεραιάς : 'Ο Α ΚΟΣΜΑΣ και στο δεξί τμήμα : Ο ΕΡΗΜΙΤΗΣ Κ ΟΜΟΛΟΓΗΤΗΣ'. Ο Άγιος πατά με γυμνά πόδια στο έδαφος, ενώ μπροστά εγχάρακτη η θάλασσα. Στο δεξί του χέρι κρατεί ράβδο που απολήγει στην κορυφή σε σταυρό. Φέρει ένδυμα στην οσφύ, ενώ με το αριστερό του χέρι δείχνει τον ουρανό και έχει εγχάρακτο φωτοστέφανο. Στην ένωση των κεραιών τέσσερις πράσινες κυκλικές υαλόμαζες εντός σχηματοποιημένου διάτρητου άνθους. Στο κέντρο του κάθε άκρου κεραιάς σε μεταλλικό διάτρητο πλαίσιο γαλάζια ρομβοειδής υαλόμαζα (Εικ. 16).

Στην άλλη όψη, στο κέντρο του σταυρού ένας περίτεχνος ανάγλυφος σταυρός με τέσσερις ρόδακες περιμετρικά, στο άκρο κάθε κεραιάς. Στα σημεία ένωσης των κεραιών φύονται σπειροειδείς βλαστοί. Περιμετρικά στην ένωση των κεραιών τέσσερις κόκκινες κυκλικές υαλόμαζες εντός σχηματοποιημένου διάτρητου άνθους. Στο κέντρο του κάθε άκρου κεραιάς σε

μεταλλικό πλαίσιο διάτρητο πλαίσιο πράσινη ρομβοειδής υαλόμαζα. Στην κάτω κεραία στην πλαϊνή πλευρά υπάρχει επικολλημένο μικρό μεταλλικό πλακίδιο με καλλιγραφικό μονόγραμμα, πιθανόν του δημιουργού. Η λαβή είναι τετράγωνης διατομής και η βάση τετράγωνη με τέσσερις άνισες βαθμίδες.

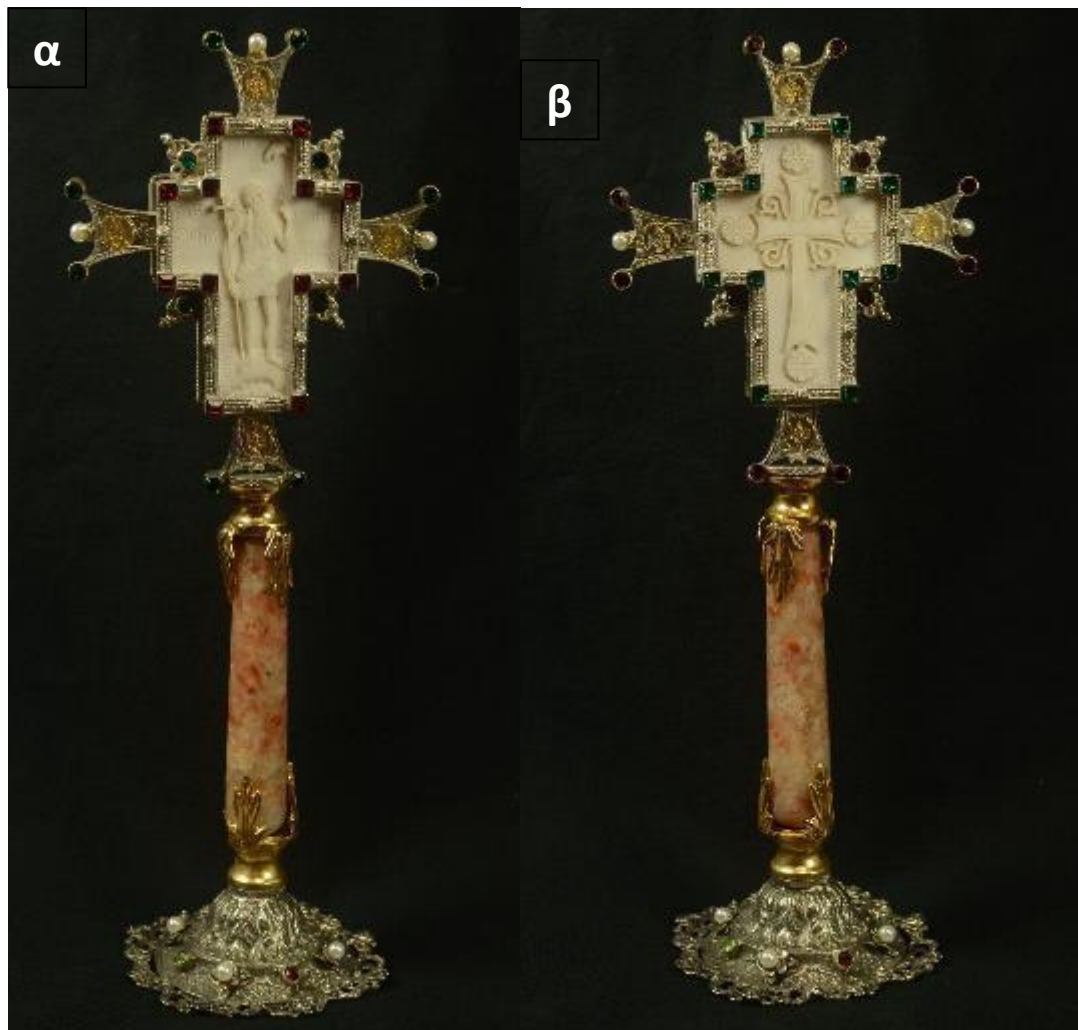
**Υλικά κατασκευής:** : κράμα μετάλλων, επιχρυσωμένο, υαλόμαζες κόκκινες, πράσινες & μπλε.

**Διαστάσεις:** Ύψος (max): 16.5 cm, Πλάτος (max): 9 cm, Πάχος σταυρού: 1 cm, Πάχος Βάσης: 4.5 cm, Πλάτος Βάσης: 5.5 cm.

**Προέλευση:** Ιδιωτική Συλλογή

**Κατάσταση Διατήρησης:** Άριστη.

### 2.2.4 Σταυρός 3



Εικόνα 17: Σταυρός 3, Α ομάδας, μίμηση ελεφαντόδοντου, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη

**Περιγραφή:** Ο σταυρός αγιασμού έχει υπόλευκό πυρήνα, με ανάγλυφο διάκοσμο και στις δύο πλευρές, εγκιβωτισμένο σε μεταλλικό πλαίσιο. Ο πυρήνας αποτελείται από διαφορετικό



υπόλευκο υλικό κατασκευής, το οποίο μιμείται ελεφαντόδοντο. Στην μία όψη φέρει ανάγλυφη μορφή, τον Άγιο Κοσμά τον Ερημίτη, γενειοφόρο με ποιμαντορική ράβδο, η οποία απολήγει σε σταυρό στην άνω πλευρά. Επιγραφή με κεφαλαιογράμματα: “α ΚΟΣΜΑΣ ΕΡΗΜΙΤΗΣ Κ ΟΜΟΛΟΓΗΤΗΣ”. Στην άνω πλευρά σε δόξα χέρι Κυρίου ευλογεί και επιγραφή κεφαλαιογράμματα: “ΙC ΧC”. Στο αριστερό τμήμα της οριζόντιας κεραίας : ‘Οα ΚΟCΜΑC και στο δεξί τμήμα : Ο ΕΡΗΜΙΤΗΣ Κ ΟΜΟΛΟΓΗΤΗΣ’. Ο Άγιος πατά με γυμνά πόδια στο έδαφος, φέρει ένδυμα στην οσφύ, ενώ με το αριστερό του χέρι δείχνει τον ουρανό. Στο ανάγλυφο μεταλλικό πλαίσιο δώδεκα κόκκινες τετράγωνες υαλόμαζες. Στις ενώσεις κεραιών ανάγλυφα μεταλλικά κομβία με σφαιρική απόληξη και πράσινη κυκλική υαλόμαζα.

Στην πίσω όψη, στον υπόλευκο πυρήνα, ανάγλυφος σταυρός, με εγχάρακτο κύκλο στο κέντρο του και ελικοειδείς βλαστούς, που φύονται από την ένωση των κεραιών, ενώ τέσσερις ρόδακες κοσμούν τα άκρα του. Στο ανάγλυφο μεταλλικό πλαίσιο δώδεκα πράσινες τετράγωνες υαλόμαζες και στις ενώσεις ανάγλυφα μεταλλικά κομβία με σφαιρική απόληξη και κόκκινη κυκλική υαλόμαζα.

Κάθε κεραία του σταυρού φέρει εξωτερικά μια δεύτερη κεραία, διαφορετικού σχήματος με διπλή απόληξη, κοσμημένη με υαλόμαζες και ψεύτικα μαργαριτάρια. Εσωτερικά στη δεύτερη κεραία, εξαπτέρυγο εντός κυκλικού επίχρυσου πλαισίου.

Η λαβή κυκλικής διατομής είναι κατασκευασμένη από δίχρωμο λευκό και κεραμιδί λίθο και είναι δεμένη με τέσσερα επίχρυσα φύλλα στο σημείο ένωσης με τον σταυρό και το ίδιο δέσιμο στην κυκλική ανάγλυφη επασημωμένη βάση. Το κατώτερο τμήμα της βάσης κοσμεύεται με φυτικό επαναλαμβανόμενο διάκοσμο και γεωμετρικά μοτίβα, φέρει ψεύτικα μαργαριτάρια που εναλλάσσονται με κόκκινες και ανοιχτό πράσινες κυκλικές υαλόμαζες. Η κυκλική βάση απολήγει σε έξεργο διάτρητο διάκοσμο με τριαντάφυλλα και κομβία (Εικ. 17).

Στην κατώτερη κάθετη κεραία, στην πλαϊνή πλευρά, υπάρχει επικολλημένο μικρό μεταλλικό πλακίδιο με καλλιγραφικό μονόγραμμα, πιθανόν το μονόγραμμα του δημιουργού.

Στην κάτω πλευρά της κυκλικής βάσης υπάρχει χαραγμένη η επιγραφή: “ΕΝΘΥΜΙΟ ΤΟΥ ΟΣΙΟΥ ΚΟΣΜΑ ΤΟΥ ΕΡΗΜΙΤΗ Ι.Μ. ΚΟΥΔΟΥΜΑ 2019”. Ο σταυρός αποτελεί ενθύμιο από την επιστροφή μέρους των λειψάνων του από την Βενετία.

**Υλικά κατασκευής:** : Ασήμι, επιχρυσωμένο, ρητίνη/μίμηση οστού, απομίμηση μαργαριταριών, υαλόμαζες κόκκινες και πράσινες, λίθος.

**Διαστάσεις:** Ύψος (max): 31 cm, Πλάτος (max): 12 cm, Πάχος: 2.8 cm, Διάμετρος βάσης: 10 cm.

**Προέλευση:** Ιδιωτική Συλλογή

**Κατάσταση Διατήρησης:** Άριστη

## 2.3 Περιγραφή σταυρών Ομάδας Β

### 2.3.1 Ομάδα Β: Σταυροί αγιασμού -Παλαιότεροι

Η ομάδα Β αποτελείται από τρεις σταυρούς, οι οποίοι έχουν παλαιότερη χρονολογία κατασκευής. Οι σταυροί έχουν το ίδιο θέμα, όμως τα υλικά κατασκευής τους είναι διαφορετικά. Ο πρώτος είναι κατασκευασμένος εξ ολοκλήρου από ξύλο, έχει απλή γεωμετρική μορφή, χωρίς ανάγλυφο διάκοσμο και φέρει ζωγραφικό στρώμα. Ο δεύτερος είναι κατασκευασμένος εξ ολοκλήρου από μέταλλο. Ο τελευταίος είναι μικτός, ο πυρήνας του είναι ξυλόγλυπτος και έχει περίτεχνο δέσιμο με μεταλλικό πλαίσιο. Τα κριτήρια επιλογής των σταυρών της ομάδας ήταν ο βαθμός δυσκολίας ψηφιοποίησης. Ο σταυρός 4 είναι πιο απλός σε γεωμετρία και σε υλικά και έχει μικρό βαθμό δυσκολίας. Ο σταυρός 5 είναι σχετικά απλός γεωμετρικά, όμως το υλικό κατασκευής και η εγχάρακτη παράσταση στην πίσω όψη είναι απαιτητική. Παραμένει μέτριου βαθμού δυσκολίας, με εύκολο μοντέλο αλλά δύσκολη απεικόνιση των επιφανειών. Ο σταυρός 6 είναι ο πιο περίπλοκος, με υψηλό βαθμό δυσκολίας, καθώς συνδυάζει διάφορες τεχνικές κατασκευής, έχει μεταλλικά και ξύλινα στοιχεία με διακοσμητικά από κοράλλια, με λευκές λεπτομέρειες. Η πολυπλοκότητα του αντικειμένου απαιτεί αναλυτική φωτογράφιση, καλή τοποθέτηση του φωτισμού και ιδιαίτερη προσοχή στην απεικόνιση του πάνω τμήματος. Στην ομάδα των παλαιότερων σταυρών αγιασμού επιλέξαμε να δούμε διάφορους βαθμούς δυσκολίας, για να δείξουμε τις ιδιαιτερότητες στην απόδοση του καθενός ψηφιακά.

### 2.3.2 Σταυρός 4



Εικόνα 18: Σταυρός 4, ομάδας Β, με ζωγραφικό στρώμα, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη

**Περιγραφή:** Ο σταυρός αγιασμού είναι ξύλινος και φέρει ζωγραφικό διάκοσμο και στις δύο πλευρές. Στην μία όψη απεικονίζεται άγιος αδιάγνωστος. Ο άγιος έχει ελαφρά στραμμένο το κεφάλι του προς τα δεξιά. Φέρει πράσινο ένδυμα, με το δεξί χέρι κρατάει σταυρό (δυσδιάκριτος), ενώ με το αριστερό του χέρι ευλογεί (Εικ. 18). Άνωθεν, εντός τριγώνου, το μάτι του Θεού, σε υποκίτρινη ζώνη. Το φόντο είναι γαλάζιου χρώματος, ενώ υπάρχουν αχνά ίχνη υπόλευκων γραμμών κοντά στο φωτοστέφανο. Χαμηλά επάλληλες ζώνες διαφορετικού χρώματος, στην μια εκ των οποίων η Χρονολογία 1845 ή 1945.

Στην άλλη όψη του σταυρού, κάθετη κόκκινη γραμμή στο κέντρο, ενώ διακρίνονται αχνά κάποια δυσνόητα ίχνη χρωστικών.

Η λαβή είναι τετράγωνης διατομής και η έδραση τετράγωνη.

**Υλικά κατασκευής:** ξύλο, χρωστικές

**Διαστάσεις:** Ύψος (max): 18 cm, Πλάτος (max): 6.5 cm, Πάχος σταυρού: 3 cm, Πάχος Βάσης: 3 cm, Πλάτος Βάσης: 3 cm.

**Προέλευση:** Ιδιωτική Συλλογή

**Κατάσταση Διατήρησης:** Μέτρια, οπές από ξυλοφάγα έντομα, απώλειες ζωγραφικού στρώματος, εκδορές.

### 2.3.3 Σταυρός 5



*Εικόνα 19 : Σταυρός 5, Β ομάδας, ασημένιος εγχάρακτος, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη*

**Περιγραφή:** Ο σταυρός αγιασμού είναι ασημένιος. Στην εμπρόσθια όψη έχει ανάγλυφη τη μορφή του Εσταυρωμένου ενώ στην πίσω έχει εγχάρακτη τη σκηνή της Βάπτισης (Εικ. 19). Στη Σταύρωση ο Χριστός φέρει ένδυμα στην οσφύ, έχει γερμένο το κεφάλι προς τα κάτω, φορεί ακάνθινο στεφάνι, ενώ το φωτοστέφανο είναι ανάγλυφο πάνω στο σταυρό. Η ανάγλυφη μορφή του Χριστού έχει στερεωθεί στο σταυρό με τρία μεταλλικά καρφιά, δύο στα χέρια και ένα συγκρατεί τα δύο πόδια. Στην πίσω όψη απεικονίζεται εγχάρακτη η Βάπτιση. Στην κεντρική κεραία ο Χριστός εντός του Ιορδάνη ποταμού, ευλογεί με το δεξί του χέρι, φορώντας ένδυμα στην οσφύ και φωτοστέφανο με τα αρχικά ΟωΝ. Στη δεξιά κεραία ο Ιωάννης ο Πρόδρομος, φορώντας

τη μηλωτή, ακουμπά το δεξί του χέρι στο κεφάλι του Ιησού. Στην αριστερή κεραία άγγελος Κυρίου, ενώ άνωθεν το Άγιο Πνεύμα σε μορφή περιστεράς.

Τα πλευρικά φυτόμορφα κοσμήματα στα σημεία ένωσης των κεραιών είναι πιθανώς χυτά σε καλούπι. Η λαβή είναι κυκλικής διατομής. Η βάση κυκλική με ανάγλυφο επαναλαμβανόμενο ελικοειδή διάκοσμο.

**Υλικά κατασκευής:** ασήμι

**Διαστάσεις:** Ύψος (max): 22 cm, Πλάτος: 9 cm, Πάχος σταυρού: 1.2 cm, Διάμετρος Βάσης: 8 cm.

**Προέλευση:** Ιδιωτική Συλλογή

**Κατάσταση Διατήρησης:** Μέτρια, οξειδώσεις, απώλειες και εκδορές.

#### 2.3.4 Σταυρός 6



Εικόνα 20: Σταυρός 6, Β ομάδας, Ιστορικό Μουσείο Κρήτης, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη

**Περιγραφή:** Οι ανάγλυφες παραστάσεις, ξεκινούν από την άνω κάθετη κεραία, όπου απεικονίζεται ένας καθήμενος Ευαγγελιστής, πιθανόν ο Μάρκος. Κάτω από τον Ευαγγελιστή, στο

κέντρο, ο Εσταυρωμένος με δυο όρθιες μορφές, αριστερά του εικονίζεται γυναικεία μορφή και στο κέντρο ο Χριστός, ενώ δεξιά ολόσωμη ανδρική μορφή. Στην κάτω κεραία απεικονίζεται ένας καθήμενος Ευαγγελιστής, πιθανόν ο Λουκάς (Εικ.20).

Στην πίσω όψη, ξεκινώντας από την άνω κάθετη κεραία: Ένας καθήμενος Ευαγγελιστής, πιθανόν ο Ιωάννης. Κάτω από τον Ευαγγελιστή στο κέντρο η σκηνή της Βάπτισης. Ο Ιωάννης ο Πρόδρομος αριστερά, με απλωμένο το χέρι του προς τον Χριστό, ο οποίος έχει σκυμμένο το κεφάλι του. Αριστερά και δεξιά στις οριζόντιες κεραίες, άγγελοι που σεβίζονται, έχοντας καλυμμένα τα χέρια τους με ύφασμα. Στην κάτω κεραία ένας καθήμενος Ευαγγελιστής, πιθανόν ο Ματθαίος.

Το μεταλλικό πόδι είναι ψηλό και κυλινδρικό, με αμφικωνικό δακτύλιο στο κέντρο, που φέρει συρματερό διάκοσμο.

Ο σταυρός περιβάλλεται με μεταλλικό πλαίσιο που φέρει συρματερό διάκοσμο, όμοιο με το διάκοσμο στη βάση του στελέχους. Οι οριζόντιες κεραίες απολήγουν σε τρουλίσκους ή κωδωνοστάσια σε οριζόντια διάταξη. Στην άνω πλευρά οι ίδιες κεραίες φέρουν ένα δεύτερο τρουλίσκο σε κάθετη διάταξη. Όλο το μεταλλικό συρματερό πλαίσιο κοσμεύεται με χάντρες κατασκευασμένες από κοράλλι.

**Υλικά κατασκευής:** ασήμι, ξύλο, κοράλλι.

**Διαστάσεις:** Ύψος (max): 18.5 cm, Πλάτος: 8 cm, Διάμετρος Βάσης: 7.5 cm.

**Προέλευση:** EKIM, Ιστορικό Μουσείο Κρήτης, Αρ.:1791 All 0363

**Κατάσταση Διατήρησης:** Μέτρια, ελλιπής κατά μικρό μέρος, αποκομμένος σε δύο μέρη, οξειδώσεις, διάβρωση ξύλου, προσθήκη μεταλλικού σύρματος για συγκράτηση των στοιχείων του, απώλειες και εκδορές.

## 2.4 Η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση των σταυρών ευλογίας ή αγιασμού

### 2.4.1 Επιλογή αντιπροσωπευτικών Τεχνικών και μεθοδολογίας

Από τα προηγούμενα κεφάλαια γίνεται αντιληπτό ότι η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους και μεθόδους. Λόγω έλλειψης χρόνου και ειδικού εξοπλισμού επιλέχθηκαν δύο μέθοδοι: η φωτογραμμετρία και τα NeRF. Το σκεπτικό πίσω από αυτήν την επιλογή είναι πως πρόκειται για αρκετά πιο απλές μεθόδους και εύκολα προσβάσιμες.

Η φωτογραμμετρία επιλέχτηκε επειδή παρέχει την δυνατότητα μοντελοποίησης μικρών αντικειμένων έως την κατασκευή μεγάλης κλίμακας αντικειμένων αρκετά εύκολα, καθώς το μόνο που χρειάζεται είναι μια φωτογραφική κάμερα, ένα τρίποδο, το αντικείμενο, ένα τραπέζι ως βάση, ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής με κάρτα γραφικών και το πρόγραμμα της επιλογής του καθενός, για την δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων. Με μια συσκευή λήψης φωτογραφιών, όπως Drone, κινητό τηλέφωνο, φωτογραφική κάμερα κ.α. μπορεί να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο τρισδιάστατο ψηφιοποιημένο αντικείμενο, χωρίς ακριβό εξοπλισμό με συγκεκριμένο χωρίς ακριβό εξοπλισμό με συγκεκριμένες προδιαγραφές, μέγεθος και κίνηση των βραχιόνων.

Η δεύτερη μέθοδος εφαρμόστηκε είναι μια σχετικά νεότερη μέθοδος που ονομάζεται NeRF. Τα NeRF τα τελευταία τέσσερα χρόνια με την εξέλιξη της τεχνολογίας και του AI (Artificial Intelligence) έχουν δημιουργήσει καταπληκτικά αποτελέσματα στο χώρο των 3D. Σε αντίθεση με την φωτογραμμετρία που είναι φιλική προς τους χρήστες, τα NeRF ακόμα είναι σε πολύ πρώιμο στάδιο και δεν υπάρχει κάποια ολοκληρωμένη εφαρμογή για να εγκατασταθεί στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο τρόπος που μπορεί κάποιος να δημιουργήσει τα NeRF είναι να τρέξει το NeRF Studio, μέσω της Γραμμής Εντολών (cmd), χωρίς περιορισμούς σε φωτογραφίες, χρόνους και πλήρη αυτονομία στις ρυθμίσεις ή να το τρέξει με εφαρμογές Web ή κινητού, π.χ. Luma AI. Η εφαρμογή Web της Luma AI είναι πιο φιλική για το χρήστη άλλα με κάποιους περιορισμούς, όπως π.χ. όριο μεγέθους αρχείων ως 5 GB. Οι εφαρμογές κινητού από την άλλη έχουν βοήθεια σε πραγματικό χρόνο με κάναβο.

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό που έχουν οι εφαρμογές αυτές είναι πως δεν μας επηρεάζει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής και οι δυνατότητές του, καθώς το μόνο που χρειαζόμαστε είναι μια σύνδεση με το διαδίκτυο για να στείλουμε τα αρχεία στον Server της εταιρείας, και αυτοί θα μας τα μετατρέψουν σε 3D.

Το NeRF Studio παρέχει πλήρη ελευθερία στον χρήστη, εφόσον αυτός έχει πιο εξειδικευμένες γνώσεις ηλεκτρονικού υπολογιστή και κατανοεί πως λειτουργεί η Γραμμή Εντολών, ενώ οφείλει να γνωρίζει καλά την Αγγλική γλώσσα. Δεν είναι όμως ιδιαίτερα φιλικό περιβάλλον προς το μέσο χρήστη, καθώς για να μπορέσει κάποιος να τρέξει το NeRF Studio θα πρέπει να μεταβεί στην ιστοσελίδα της εταιρείας, να μετακινηθεί προς τα κάτω μέχρι την ενότητα Quicklinks και να πατήσει την λέξη GitHub, που θα τον μεταφέρει σε έναν άλλο ιστότοπο. Ο καινούργιος ιστότοπος θα του δώσει κάποια βήματα με διάφορες εντολές που θα χρειαστεί να εισάγει στη γραμμή εντολών. Για αρχή θα χρειαστεί να κατεβάσει κάποια προγράμματα, που θα του δώσουν τη δυνατότητα να δημιουργήσει το περιβάλλον. Δηλαδή, θα χρειαστεί να

εγκαταστήσει το Conda, που σε αυτό θα δώσει την εντολή να εγκαταστήσει το PyTorch και το Tiny-cuda και αν όλα πάνε καλά, θα δοκιμάσει να εγκαταστήσει τον NeRF Studio.

Στην περίπτωση που δεν τρέξει το πρόγραμμα, θα χρειαστεί να κατεβάσει και άλλα προγράμματα, που θα του δώσουν την δυνατότητα να τρέξει τα προηγούμενα.

Στην περίπτωση που το πρόγραμμα τρέξει χωρίς προβλήματα, τότε θα εισάγει τις φωτογραφίες από τον φάκελο που τις έχει αποθηκεύσει με την κατάλληλη εντολή και θα αφήσει το πρόγραμμα να προχωρήσει. Στην περίπτωση που τα στοιχεία επαρκούν και δεν παρουσιαστούν προβλήματα κατά την διαδικασία παραγωγής του μοντέλου, το πρόγραμμα θα εμφανίσει μια γραμμή με έναν σύνδεσμο. Ο χρήστης αντιγράφει τον σύνδεσμο και τον εισάγει στη γραμμή αναζήτησης που οδηγεί στο πρόγραμμα προβολής ιστού. Μετά θα πρέπει να οπτικοποιήσει την υπάρχουσα εκτέλεση και να εξάγει το NeRF. Τα δεδομένα που θα εξαχθούν θα είναι ένα νέφος σημείων ή μια απόδοση σε βίντεο. Στην απόδοση με βίντεο θα χρειαστεί χειροκίνητα να εισάγει ο χρήστης την διεύθυνση της κάμερας, στα σημεία που θέλει να αποδώσει, καθώς και όποιες παραμέτρους θέλει.

Παρόμοιες δυνατότητες μας δίνει και το Instant NGP της NVIDIA, που είναι ένα αρκετά γρήγορο πρόγραμμα και μειώνει τους χρόνους παραγωγής των μοντέλων ραγδαία (σύμφωνα με τον Thomas Müller, που είναι κύριος ερευνητής στην NVIDIA στο τομέα των NeRF).

Το instant-ngp συνοδεύεται από ένα διαδραστικό GUI που περιλαμβάνει πολλές δυνατότητες:

- Φιλικό λογισμικό για διαδραστική εξερεύνηση νέων νευρωνικών γραφικών.
- Δυνατότητα χρήσης συστήματος VR για εξερεύνηση νέων νευρωνικών γραφικών.
- Δυνατότητα λήψης στιγμιότυπων και κοινοποίηση της προόδου σε τρίτους ή δημοσίευση στο διαδίκτυο.
- Δυνατότητα επεξεργασίας διαδρομής της κάμερας για τη δημιουργία βίντεο.
- Δυνατότητα μετατροπής NeRF & SDF-> Mesh, κ.α.

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε, καταλήξαμε πως το Instant NGP της NVIDIA ήταν η καλύτερη επιλογή για τα NeRF. Το πρόγραμμα είναι φιλικό και σχετικά εύκολο να τρέξει. Δεν έχει μεγάλο αριθμό βημάτων για την εγκατάσταση. Τα βήματα που θα κάνει ο χρήστης είναι να μπει στην ιστοσελίδα του GitHub που αφορούν τα Instant NGP, να διαλέξει ποιο αρχείο θα κατεβάσει – ανάλογα την κάρτα γραφικών που διαθέτει –, να κάνει αποσυμπίεση στον φάκελο και να πατήσει την εφαρμογή **instant-ngp.exe**. Τότε θα εισάγει τις φωτογραφίες, από τον φάκελο που τις έχει αποθηκεύσει, και θα δώσει την εντολή στο πρόγραμμα να εκπαιδευτείται.



Υπήρξαν κάποια προβλήματα με τα NeRF. Τα προγράμματα NeRFstudio & Instant NGP δεν μπόρεσαν να τρέξουν ικανοποιητικά στον υπολογιστή που είχαμε διαθέσιμο, αν και οι προδιαγραφές του κάλυπταν τις ανάγκες του προγράμματος. Δοκιμάσαμε να τα αντιμετωπίσουμε μέσω troubleshooting, ήρθαμε σε επικοινωνία με επαγγελματίες στο χώρο του 3D για να μας δώσουν κάποιες συμβουλές, αλλά και πάλι δεν καταφέραμε να πάρουμε αποτελέσματα. Τα προγράμματα τρέχουν κανονικά, αλλά την στιγμή που εισάγουμε τις φωτογραφίες το πρόγραμμα κολλάει και κλείνει, δίχως ειδοποιήσεις.

Δεν ήταν εφικτό επίσης να αξιοποιηθούν οι υπολογιστές του Πανεπιστημίου, καθώς η πρόσβαση στους χώρους του πανεπιστημίου δεν ήταν δυνατή. Γι' αυτό καταλήξαμε πως τα NeRF θα γίνουν με την χρήση του λογισμικού της Luma AI, καθώς είναι φιλικό προς τον χρήστη και μπορεί να γίνει εύκολα με μόνο έναν υπολογιστή χαμηλών δυνατοτήτων.

Για την φωτογραμμετρία, η επιλογή ήταν πιο ξεκάθαρη, καθώς το Πανεπιστήμιο έχει άδεια χρήσης του λογισμικού *Reality Capture*. Η χρήση επαγγελματικών εργαλείων για φωτογραμμετρία απαιτεί την αγορά αδειών λογισμικού. Έγιναν δοκιμές και με το πρόγραμμα *Agisoft Metashape* (με την δωρεάν έκδοση για ένα μήνα που μας δίνει το λογισμικό), αλλά από εκεί και πέρα χρειάζεται αγορά του προγράμματος (το ύψος της τιμής του ξεπερνά τις τρεις χιλιάδες ευρώ). Το πρόγραμμα αυτό απευθύνεται σε επαγγελματίες, καθώς είναι σχεδιασμένο με τρόπο ώστε να δίνει πλήρη ελευθερία στον χρήστη.

Το Reality Capture είναι επίσης ένα πολύ καλό εργαλείο, που απευθύνεται προς όλους τους χρήστες και είναι εξίσου αξιόλογο. Οι δυνατότητες και των δύο προγραμμάτων είναι παρόμοιες, με ελάχιστες διαφορές. Και οι δύο εφαρμογές μπορούν να παρέχουν το αποτέλεσμα που μας ενδιαφέρει στην παρούσα πτυχιακή.

Πραγματοποιήσαμε κάποιες δοκιμές σε διαφορετικές περιβαλλοντικές καταστάσεις, συνθήκες φωτισμού, αλλά και ποιότητας κάμερας, προκειμένου να καταλήξουμε στο πλέον ενδεδειγμένο ιδανικό αποτέλεσμα, σε σχέση πάντα με τα μέσα που διαθέτουμε.

Για άριστα αποτελέσματα είναι αναγκαίο ένα ολοκληρωμένο και επαγγελματικό στούντιο, όμως μπορεί να προκύψει ένα αρκετά καλό αποτέλεσμα χωρίς προβλήματα, με ελάχιστη προσπάθεια προετοιμασίας του φόντου και του φωτισμού.

Υπάρχουν πολλά προγράμματα τρισδιάστατης ψηφιοποίησης, κάποια επί πληρωμή και άλλα δωρεάν. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα πτυχιακή ήταν το *Agisoft Metashape*, ένα συνδρομητικό πρόγραμμα, το *Reality Capture*, όπου η Σχολή έχει εκπαιδευτική

άδεια και μπορούμε να το χρησιμοποιούμε δωρεάν, και το *Luma AI*, που είναι μια δωρεάν εφαρμογή κινητού.

Το Reality Capture προσφέρει πιο οικονομικά πακέτα καθώς και την δυνατότητα κοινοποίησης του αρχείου σε μια ιστοσελίδα τρίτου, όπου από εκεί μπορούμε να τα κατεβάσουμε δωρεάν, με τον μοναδικό περιορισμό ότι υπάρχει όριο στα πόσα αρχεία μπορείς να ανεβάσει κάθε χρήστης ανά μήνα. Στην περίπτωση που υπάρχει μια εκπαιδευτική άδεια για την χρήση του προγράμματος, δεν υπάρχουν πλέον περιορισμοί στο όριο των αντικειμένων. Είναι όμως σημαντικό να αναφέρουμε πως τα 3D που παράγονται από την δωρεάν έκδοση του Reality Capture δεν λειτουργούν μετά στο πρόγραμμα. Χρειάζεται κανείς να επαναλάβει την διαδικασία ψηφιοποίησης του αντικειμένου<sup>5</sup>.

Στο Agisoft Metashape δεν υπάρχει κάποια τέτοια δυνατότητα. Μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει τη δωρεάν δοκιμή μόνο για ένα μήνα, το πακέτο απλής χρήσης με ένα ποσό γύρω στα 130 ευρώ και το επαγγελματικό που ανέρχεται στις 3.500 ευρώ. Τα αρχεία της δωρεάν δοκιμής μπορείς να τα αξιοποιήσει κάποιος και μετά που θα αποκτήσει την άδεια χρήσης του προγράμματος.

Το Luma AI για τα NeRF είναι δωρεάν για χρήση. Υπάρχει και συνδρομητική έκδοση που αφαιρεί το υδατογράφημα, με ελάχιστη χρέωση 30 ευρώ τον μήνα. Στην δωρεάν έκδοση δεν αφαιρείται το υδατογράφημα. Η ιστοσελίδα αναφέρει πως κάθε χρήστης έχει όριο 30 δωρεάν εικόνες δημιουργημένες από AI ή 30 μόνο NeRF ανά μήνα.

Τα τρία αυτά προγράμματα μπορούν να λειτουργήσουν με τη χρήση επαγγελματικής κάμερας και με τη χρήση μιας καλής κάμερας κινητού. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμη φωτογραφική κάμερα μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει το κινητό του, εάν έχει Professional mode, και μια βάση τρίποδου για σταθερή εικόνα για την φωτογραμμετρία, ενώ στα NeRF και λήψη βίντεο θεωρείται αποδεκτή.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την διαδικασία της ψηφιοποίησης των σταυρών περιγράφεται συνοπτικά στα επόμενα βήματα :

#### **Για το πρόγραμμα Agisoft:**

1. Επιφανειακός καθαρισμός αντικειμένου
2. Τοποθέτηση του αντικειμένου που πρόκειται να φωτογραφηθεί
3. Ρύθμιση των φωτιστικών πηγών

---

<sup>5</sup> Είναι δωρεάν για όλους και για σκοπούς κάτω του 1.000.000 \$ τον χρόνο.

4. Τοποθέτηση και ρύθμιση της κάμερας στο τρίποδο
5. Αναλυτική Φωτογράφιση του αντικειμένου χρησιμοποιώντας φωτογραφική κάμερα
6. Εισαγωγή φωτογραφιών στο Agisoft Metashape
7. Ευθυγράμμιση των φωτογραφιών (Align Photos)
8. Κατασκευή πλέγματος (Build Mesh)
9. Κατασκευή νέφους σημείων (Build Point Cloud)
10. Δημιουργία υφής του αντικειμένου (Build Texture)
11. Τρισδιάστατη προβολή στην οθόνη και αποθήκευση ως αρχείο .PSX ή .RCPROJ
12. Εξαγωγή τελικών δεδομένων ως αρχείο .OBJ

#### **Για το πρόγραμμα Reality Capture:**

1. Επιφανειακός καθαρισμός του αντικειμένου
2. Στήσιμο του φωτογραφικού στούντιο με μαύρο φόντο
3. Τοποθέτηση της περιστρεφόμενης βάση με μαύρο φόντο
4. Τοποθέτηση του αντικειμένου που πρόκειται να φωτογραφηθεί στην περιστρεφόμενη βάση
5. Ρύθμιση των φωτιστικών πηγών
6. Τοποθέτηση και ρύθμιση της κάμερας στο τρίποδο
7. Αναλυτική Φωτογράφιση του αντικειμένου χρησιμοποιώντας φωτογραφική κάμερα
8. Εισαγωγή των φωτογραφιών στο Reality Capture
9. Ευθυγράμμιση φωτογραφιών (Align Photos)
10. Κατασκευή πλέγματος (Build Mesh)
11. Κατασκευή νέφους σημείων (Build Point Cloud)
12. Δημιουργία υφής του αντικειμένου (Build Texture)
13. Τρισδιάστατη προβολή στην οθόνη και αποθήκευση ως αρχείο .PSX ή .RCPROJ
14. Εξαγωγή τελικών δεδομένων ως αρχείο .OBJ

#### **Για το πρόγραμμα Luma AI:**

1. Επιφανειακός καθαρισμός
2. Τοποθέτηση του αντικειμένου που πρόκειται να φωτογραφηθεί
3. Ρύθμιση των φωτιστικών πηγών
4. Ρύθμιση της κάμερας στις κατάλληλες συνθήκες λήψης

5. Αναλυτική Φωτογράφιση ή βιντεοσκόπηση του αντικειμένου χρησιμοποιώντας κάμερα κινητού
6. Αποστολή των φωτογραφιών ή του βίντεο στην ιστοσελίδα του Luma AI σε μορφή .zip.
7. Αναμονή μέχρι να ολοκληρωθεί το μοντέλο από το Luma AI
8. Προεπισκόπηση του μοντέλου από την εφαρμογή και ρύθμιση την πορεία της κάμερας
9. Επιλογή του τύπου αρχείου που θέλω να εξάγω
10. Λήψη

Αν κάποιος χρήστης ακολουθήσει αυτά τα συνοπτικά βήματα, θα μπορέσει να φτιάξει ένα ολοκληρωμένο τρισδιάστατο μοντέλο. Να σημειωθεί πως κάθε μοντέλο έχει διαφορετικό τρόπο προσέγγισης, καθώς και ιδιαιτερότητες.

#### 2.4.2 Προετοιμασία του αντικειμένου

Τα αρχαιολογικά αντικείμενα με τα χρόνια συλλέγουν αρκετή αιθάλη, μικροσωματίδια και πολλές επικαθίσεις. Αυτά τα ξένα υλικά πάνω στα αντικείμενα εμποδίζουν από το να υπάρχει μια καθαρή και ολοκληρωμένη εικόνα του αντικειμένου. Πριν ξεκινήσουμε οποιαδήποτε διαδικασία οφείλουμε να προετοιμάσουμε το αντικείμενο. Τα αντικείμενα χρειάζονται ένα ήπιο επιφανειακό καθαρισμό, με ειδικό πινέλο με μαλακές τρίχες. Ο καθαρισμός δεν θα πρέπει να είναι σε βάθος, καθώς οι γυαλάδες μας επηρεάζουν στην φωτογραμμετρία, αλλά ήπιος προκειμένου να απομακρυνθεί το στρώμα αιθάλης, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να διατηρηθεί η έλλειψη αντανάκλασεων χωρίς όμως να μας κρύβει πληροφορίες για το αντικείμενο.

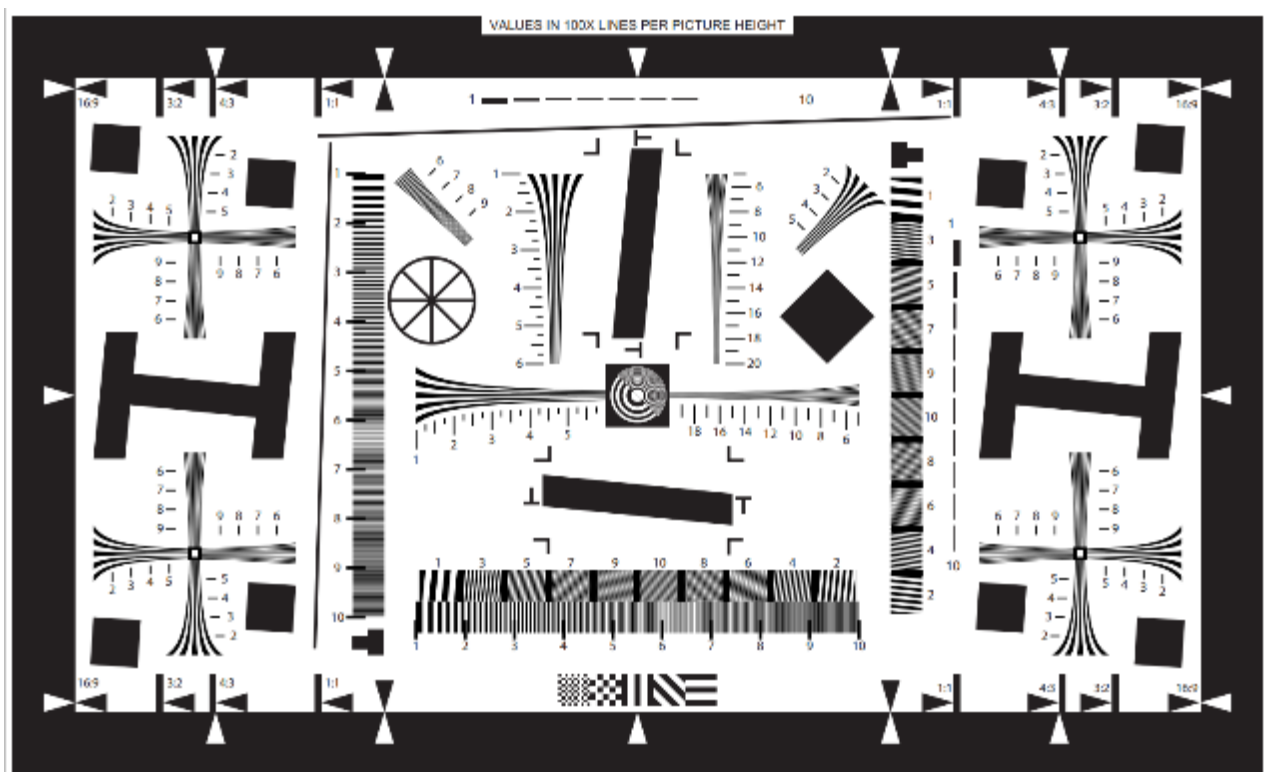
Στις περιπτώσεις που οι αντανάκλασεις είναι αρκετά έντονες, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το σπρέι *Aesub blue*. Το συγκεκριμένο σπρέι είναι αρκετά χρήσιμο καθώς δεν αφήνει υπολείμματα πίσω και εξατμίζεται όλο σε τέσσερις ώρες (Jäger 2023), κάτι που είναι αρκετά αναγκαίο σε αντικείμενα αρχαιολογικής αξίας. Η εφαρμογή του είναι απλή: χρειάζεται να ψεκάσουμε σε απόσταση 15 με 20 cm, πιέζοντας ελαφρά το καπάκι, ψεκάζοντας το αντικείμενο περιμετρικά με σταθερό ρυθμό και με ομοιόμορφες, μπρος και πίσω κινήσεις. Ψεκάζουμε όλο το αντικείμενο και όχι μεμονωμένα σημεία.

Για το σπρέι *Aesub blue*, ενώ θεωρητικά ενδείκνυται για αρχαιολογικά έργα τέχνης, υπάρχουν πολλές επιφυλάξεις ως προς τα υλικά κατασκευής του, καθώς και πώς αυτά επηρεάζουν τα λεπτά ζωγραφικά στρώματα. Λόγω των άγνωστων επιπτώσεων που μπορεί να

επιφέρει στα αντικείμενα μας, επιλέξαμε να αποφύγουμε τη χρήση του για να μην δημιουργηθούν τυχόν μελλοντικά προβλήματα.

Στην περίπτωση του Agisoft και του Luma, το αντικείμενο πρέπει να τοποθετηθεί σε μια βάση και περιμετρικά του αντικειμένου να υπάρχει αρκετός χώρος, έτσι ώστε να περιστρέφεται η κάμερα μαζί με το τρίποδο γύρω από το αντικείμενο. Μια απόσταση ενός μέτρου είναι αρκετά ικανοποιητική, ανάλογα το μέγεθος και τον εξοπλισμό μας, και μπορούμε να δοκιμάσουμε διάφορες ρυθμίσεις και τοποθετήσεις, ανάλογα το τι θέλουμε να πετύχουμε.

Είναι σημαντικό να μην υπάρχουν ενιαία χρώματα στο φόντο των αντικειμένων, αλλά να υπάρχει κάποιου είδους σημείο αναφοράς, για να μπορεί το πρόγραμμα να αναγνωρίζει το αντικείμενο, την κατεύθυνση του καθώς και το βάθος. Ένα ενιαίο φόντο θα δημιουργούσε προβλήματα κατανόησης βάθους και το αντικείμενο θα έβγαινε στρεβλωμένο. Στην βάση του αντικειμένου χρειάζεται να υπάρχει κάποιο μοτίβο με μία κλίμακα, μαζί με σημεία αναφοράς.



Εικόνα 21: VALUES IN 100X LINES PER PICTURE HEIGHT

Το παραπάνω μοτίβο (Εικ. 21) περιέχει πολλαπλά σημεία αναφοράς, καθώς και κλίμακες. Το σημαντικό σε τέτοια μοτίβα είναι να υπάρχουν αρκετά δεδομένα και να μην καλύπτονται από τα αντικείμενα μας.

Στην περίπτωση του Reality capture ένα φόντο και μια περιστρεφόμενη βάση, που δεν είναι κοντινά στις αποχρώσεις του αντικειμένου (π.χ. μαύρο), φαίνεται να έχει καταπληκτικά

αποτελέσματα. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο φωτισμό και στις ρυθμίσεις της κάμερας, καθώς αν υπάρχουν μεταβολές, το πρόγραμμα ενδέχεται τις φωτογραφίες να τις θεωρήσει διαφορετικά μοντέλα και να μην έχει καλή απόδοση.

Έχοντας αναφέρει όλα αυτά, είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η διαδικασία του καθαρισμού και της μεταφοράς του αντικειμένου.

## 2.5 Βήματα της μεθοδολογίας ψηφιοποίησης

### 2.5.1 Επιφανειακός καθαρισμός

Ο Επιφανειακός καθαρισμός αφορούσε κυρίως στην απομάκρυνση τυχόν επικαθίσεων και ρύπων με μαλακό πινέλο, εφόσον αυτό δεν φέρει κίνδυνο για το αντικείμενο. Πραγματοποιήθηκε μόνο μετά από προσεκτική εξέταση της κατάστασης διατήρησης του αντικειμένου από εξειδικευμένο συντηρητή, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι το αντικείμενο είναι σε κατάσταση σταθερή πριν προβούμε σε οποιεσδήποτε ενέργειες. Θεωρείται απαραίτητο ο εργασιακός χώρος να καθαρίζεται και να απομακρύνονται περιττά πράγματα από το περιβάλλον κατά την διαδικασία της ψηφιοποίησης. Αν υπάρχουν αντικείμενα στο πάτωμα μπορεί να φέρουν σε κίνδυνο το αντικείμενο, καθώς κάποιος μπορεί να μπερδευτεί και να πέσει. Τα πράγματα στη μέση θα εμποδίσουν την ομαλή λήψη των φωτογραφιών ή του βίντεο. Τέλος ο χώρος πρέπει να είναι καθαρός γιατί τα NeRF απαιτούν καλό φωτισμό και φόντο για να λειτουργήσουν (αν υπάρχουν αντικείμενα στο χώρο θα μπουν μέσα στο μοντέλο μας). Για να αφαιρεθούν τα περιττά αντικείμενα στο φόντο θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί άλλο πρόγραμμα σε μεταγενέστερη φάση, καθώς για παράδειγμα το Luma AI προσφέρει αυτή την δυνατότητα, αλλά είναι σε πολύ πρώιμο στάδιο και το αποτέλεσμα δεν είναι αξιόπιστο και σταθερό.

## 2.5.2 Τοποθέτηση του αντικειμένου που πρόκειται να φωτογραφηθεί

Ανάλογα με το πρόγραμμα που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε, το αντικείμενο χρειάζεται διαφορετική προσέγγιση ως προς το στήσιμο.

Το Agisoft Metashape και το Luma AI έχουν παρόμοιο τρόπο προσέγγισης για να παράγουν ένα άρτιο αποτέλεσμα. Χρειάζεται να υπάρχει επαρκής φωτισμός και να υπάρχουν πληροφορίες στο φόντο (όχι μονόχρωμο), για να μπορεί το πρόγραμμα να αντιστοιχίσει καλύτερα τις φωτογραφίες. Οι διαφορές που έχουν είναι πως το Agisoft Metashape δεν θέλει να υπάρχουν έντονες αντανakλάσεις από το φως, οπότε πρέπει να λάβουμε υπόψη μας το φως του ήλιου και να έχουμε ελεγχόμενο φωτισμό. Σε αντίθεση το Luma AI μπορεί με τα NeRF να αποδώσει τις ανακλάσεις του φωτός, καθώς η αποτύπωση που εξάγουμε αφορά το πώς φαίνεται δυναμικά το αντικείμενο (σε αντίθεση με το φωτογραμμετρικό που αποδίδει στατικά το φωτισμό στο αντικείμενο).

Στο Reality Capture μπορούμε να τραβήξουμε φωτογραφίες σε ένα μαύρο φόντο, μαζί με μια περιστρεφόμενη βάση του ίδιου χρώματος φόντου. Το Reality Capture μπορεί να λειτουργήσει με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως το Agisoft Metashape, όμως παρατηρήθηκαν καλύτερα αποτελέσματα αν το αντικείμενο τοποθετούνταν σε μονόχρωμο φόντο, χρώματος μαύρου.

Εξίσου σημαντικό είναι και το ύψος που θα τοποθετηθεί το αντικείμενο, γιατί ένας από τους νοητούς περιμετρικούς δακτύλιους που θα περιφέρεται η κάμερα, θα είναι στο ύψους του γονάτου (περίπου 35 με 40 cm από το έδαφος) με κλίση της κάμερας προς τα πάνω, ενώ ένας ακόμα νοητός δακτύλιος φωτογράφισης, θα είναι ελαφρά ψηλότερα από το αντικείμενο με κλίση προς τα κάτω. Οι δύο δακτύλιοι αυτοί καλύπτουν όλες σχεδόν τις επιφάνειες του αντικειμένου.

## 2.5.3 Ρύθμιση των φωτιστικών πηγών:

Για να επιτύχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε Cross polarized φώτα. Η διασταύρωση της πόλωσης αφορά στο ορατό φως, και είναι μια διαδικασία όπου χρησιμοποιούνται δύο πολωτές με κάθετο προσανατολισμό ο ένας με τον άλλο και χρησιμοποιούνται για τα εισερχόμενα και ανακλώμενα φώτα. Κάτω από διασταυρωμένο πολωμένο φως, δομές πρίσματος που διαφορετικά θα ήταν αόρατες γίνονται εμφανείς (Hanlon 2017:3-8).

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν Cross polarized φώτα, μπορούμε να τοποθετήσουμε την φωτιστική πηγή μας μαζί με την ομπρέλα (αν διαθέτουμε) ή το softbox μας σε κλίση 45°

μοιρών προς το αντικείμενο μας. Με αυτό το τρόπο επιτυγχάνουμε έναν ενιαίο και απαλό φωτισμό σε όλο το αντικείμενο. Σημαντικό είναι η κάμερα να μπει ακριβώς μπροστά από το αντικείμενο, αλλιώς κινδυνεύουμε να εμφανίσουμε κάποιες σκιές.

Αποφεύγουμε τους έντονους φωτισμούς, καθώς πολλά αντικείμενα καθώς και οι μεταλλικοί σταυροί εμφανίζουν έντονες γυαλάδες όταν πέφτει πάνω τους το φως. Αν το φως είναι έντονο και μονόχρωμο, τα προγράμματα Reality Capture και Agisoft Metashape μπορεί να θεωρήσουν ότι δεν υπάρχει κάτι εκεί και να μην το αποδώσουν στο μοντέλο μας. Το Luma AI μπορεί να το αποδώσει, όμως ανάλογα με την γωνία θέασης θα υπάρχουν έντονες διαφοροποιήσεις.

Η σωστή τοποθέτηση των φωτιστικών πηγών μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τα μοντέλα μας και πρέπει να δίνεται έμφαση και προσοχή στην τοποθέτηση τους, πριν ξεκινήσουμε την φωτογράφιση.

#### 2.5.4 Τοποθέτηση και ρύθμιση της κάμερας

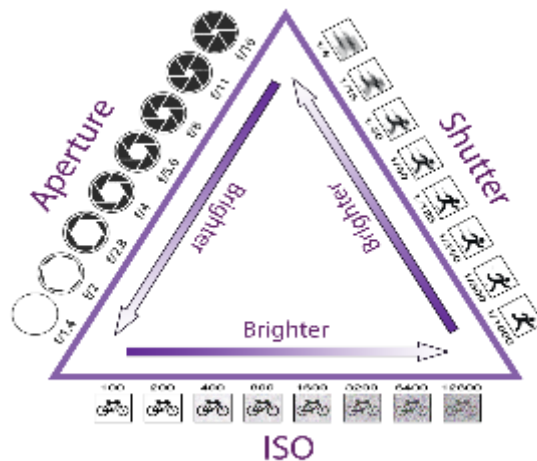
Στην περίπτωση του Reality Capture, ήταν αναγκαία η χρήση τριπόδου καθώς η φωτογράφιση σε μαύρο φόντο επηρεάζει τα χρώματα του αντικειμένου λόγω της ιδιότητας των μεταλλικών, γυάλινων και των ημιπολύτιμων λίθων να ανακλούν τον περιβάλλοντα χώρο. Το τρίποδο παρέμεινε σταθερό και άλλαζε μόνο το ύψος του. Παρατηρήθηκε ότι όσο πιο σταθερές ήταν οι παράμετροι που αφορούσαν την θέση του αντικειμένου, τόσο λιγότερα προβλήματα προέκυψαν. Η κάμερα που χρησιμοποιήθηκε κατά την φωτογράφιση ήταν η Nikon D7000 (Εικ. 22).



*Εικόνα 22: Nikon D7000*

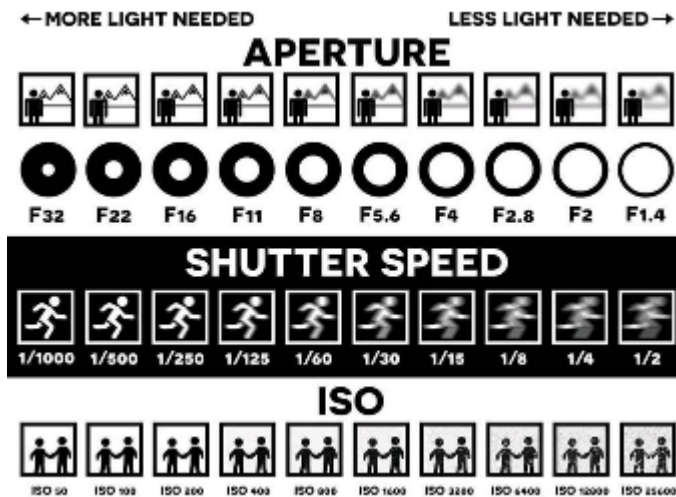


Οι ρυθμίσεις για την φωτογραμμετρία του σταυρού 3 (από τους νεότερους σταυρούς) ήταν: διάφραγμα f/11, χρόνος έκθεσης 0.62 δευτερόλεπτα, ISO 100 και εστιακή απόσταση 35mm, (που όμως ισοδυναμεί με 52.5mm). Δεν χρησιμοποιήθηκε φλας, αλλά φωτιστικές πηγές με φίλτρο μπροστά για διάχυτο φωτισμό.



Εικόνα 23: Τρίγωνο έκθεσης που αφορά στο διάφραγμα, στην ταχύτητα κλείστρου και στο ISO.

Στην Εικόνα 24 βλέπουμε ένα πίνακα που μας δείχνει πώς λειτουργούν οι αναλογίες μεταξύ των τριών αυτών ρυθμίσεων, που επηρέασε την επιλογή των ρυθμίσεων που πραγματοποιήσαμε. Παρατηρούμε πως όσο μεγαλύτερο το διάφραγμα, τόσο μικρότερο το ISO και τόσο μεγαλύτερη έκθεση του κλείστρου.

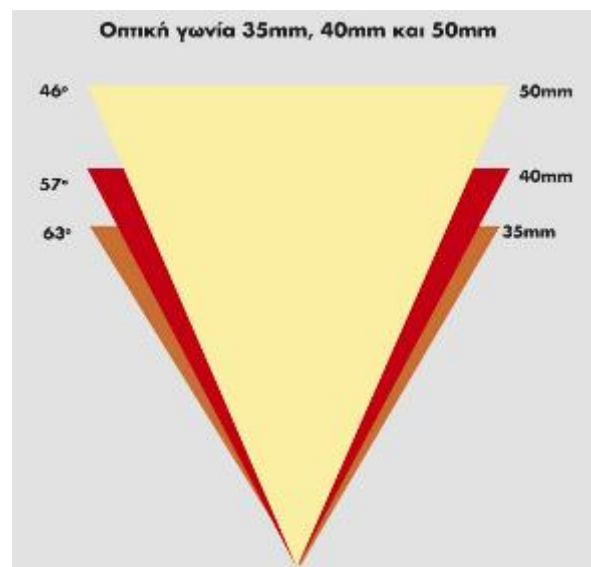


Εικόνα 24: Συμβουλές φωτογραφίας για αρχάριους

Ο φακός που επιλέχθηκε ήταν ένας φακός cropped της Nikon AF-S DX Nikkor 35mm f/1.8G (Εικ. 25). Οι φακοί με εστιακό μήκος 35mm ενδείκνυται για την λήψη φωτογραφιών σε αντικείμενα που θα γίνουν 3D με την τεχνική της φωτογραμμετρίας (Εικ. 26). Ο συγκεκριμένος φακός προσφέρει πολύ μικρή παραμόρφωση εικόνας και με μεγάλο βάθος οπτικού πεδίου. Ιδανικά θα ήταν καλύτερα να χρησιμοποιήσαμε έναν φακό 35mm για full frame μηχανές, όμως ήταν εκτός του προϋπολογισμού. Όσο μικρότερη παραμόρφωση στην εικόνα έχουμε, τόσο πιο ακριβές θα είναι το μοντέλο μας.



Εικόνα 25: Φακός AF-S DX Nikkor 35mm f/1.8G



Εικόνα 26: Οπτική γωνία(FOV= Field of View) σε σχέση με εστιακό μήκος.

Οι αντανakλάσεις σε αντικείμενα με υαλώματα και μεταλλικά στοιχεία είναι αναμενόμενες. Αντί για polarized φώτα, επιλέχθηκε να εφαρμοστεί ένα polarized φίλτρο στο φακό της μηχανής (Εικ. 27).



*Εικόνα 27: Hoya 52mm Linear Polarizer Filter B-52PL-GB*

Το φίλτρο βοηθάει στο να μειωθούν οι ανακλάσεις και οι λάμπεις αλλά και να αποδίδει καλύτερα το χρώμα και τον τονικό κορεσμό. Το φίλτρο αυτό ενδείκνυται για οποιονδήποτε προσπαθεί να κάνει 3D μοντέλα μεταλλικά.

Οι συμβουλές αυτές δεν είναι απόλυτες. Οι ρυθμίσεις μπορεί να λειτουργούν για το σταυρό 3, όμως σε άλλες περιπτώσεις ίσως χρειάζονται κάποιες αλλαγές. Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο οι διαφορετικές περιπτώσεις όσο και οι διαφορετικές κάμερες που υπάρχουν στην αγορά.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί πως το τρίποδο θα πρέπει να τοποθετηθεί σε μια απόσταση τέτοια, ώστε το αντικείμενο να χωράει στο πλάνο της κάμερας και όταν περιστρέφεται. Πριν ξεκινήσει κάποιος τη φωτογράφιση πάνω στην περιστρεφόμενη βάση, θα πρέπει να γυρίσει το αντικείμενο μια στροφή 360° μοίρες και να δει ότι δεν βγαίνει εκτός πλάνου. Σημαντικό είναι να μπορεί να αφήσει και λίγο κενό γύρω από το αντικείμενο και να μην είναι κολλημένο στα άκρα. Αν το αντικείμενο είναι κολλημένο στα άκρα, τα προγράμματα δυσκολεύονται να καταλάβουν τις αποστάσεις και το βάθος. Ένας ακόμα λόγος είναι πως, όταν προσπαθήσουμε να φωτογραφίσουμε ακολουθώντας και τους υπόλοιπους νοερούς δακτυλίου, δεν θα μετακινήσουμε το τρίποδο.

Στην περίπτωση του Agisoft Metashape δεν χρειαζόμαστε περιστρεφόμενη βάση και μονόχρωμο φόντο, όμως το τρίποδο είναι αναγκαίο, καθώς η ταχύτητα κλείστρου είναι σχετικά μεγάλη και οι φωτογραφίες δίχως τρίποδο θα βγουν κουνημένες.

Στην περίπτωση του Luma AI, τα πράγματα είναι πιο ελεύθερα. Η δυνατότητα των NeRF να παρουσιάζουν το φως από την γωνία θέασης που τα βλέπουμε και εμείς, επιτρέπει στον χρήστη να χρησιμοποιήσει βίντεο που δείχνουν σε πραγματικό χρόνο το πως είναι το φως σε κάθε σημείο. Στην πραγματικότητα τα NeRF χρησιμοποιούν ακριβώς την ίδια τεχνική με την φωτογραμμετρία, δηλαδή παίρνουν το βίντεο και το σπάνε σε δύο με τρεις φωτογραφίες ανά δευτερόλεπτο. Η βασική διαφορά είναι ο τρόπος που απεικονίζουν το αντικείμενο, αξιοποιώντας την ίδια πληροφορία.

Η τοποθέτηση του αντικειμένου θα πρέπει να είναι σε έναν καλά φωτισμένο χώρο. Δεν χρειαζόμαστε περιστρεφόμενη βάση και μονόχρωμο φόντο. Το τρίποδο δεν είναι αναγκαίο, εκτός αν αντί για βίντεο χρησιμοποιήσουμε τη φωτογραφική κάμερα, οπότε ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με το Agisoft Metashape.

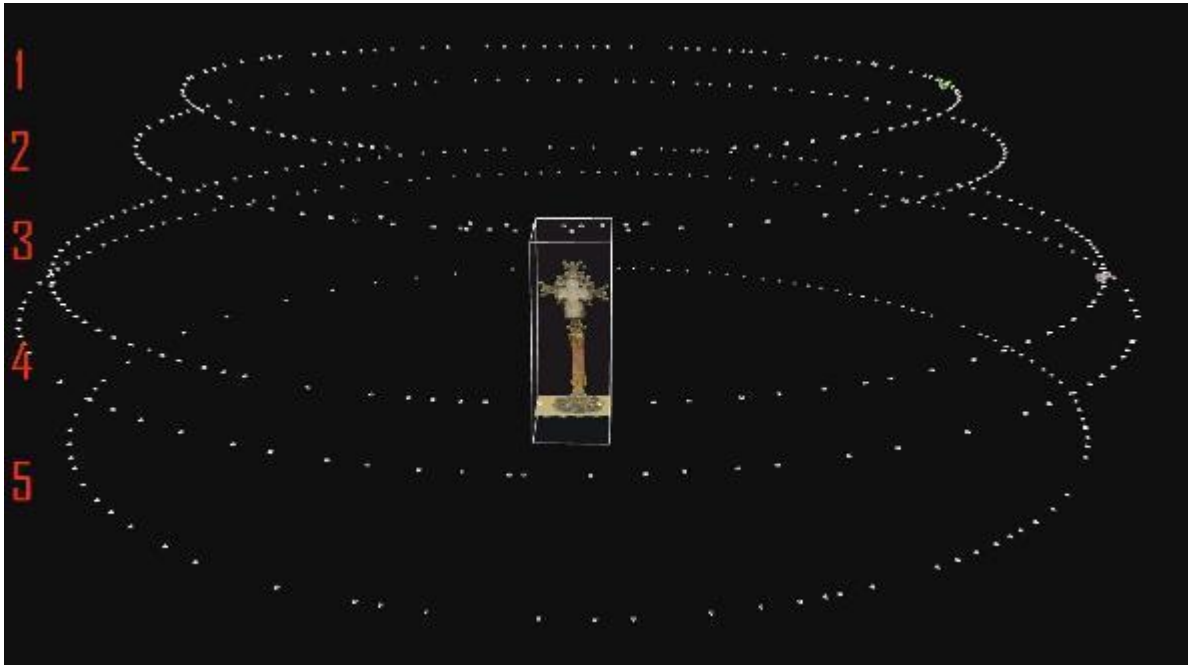
### 2.5.5 Αναλυτική Φωτογράφιση του αντικειμένου με φωτογραφική κάμερα

Στην αναλυτική φωτογράφιση του αντικειμένου είναι σημαντικό να τραβήξουμε διαδοχικές φωτογραφίες σε έναν κύκλο γύρω από το αντικείμενο. Ξεκινάμε την φωτογράφιση από τον ανώτερο νοητό δακτύλιο και κατεβαίνουμε προς τα κάτω (Εικ. 28). Τρεις περιστροφές γύρω από το αντικείμενο και αλληλοεπικάλυψη των φωτογραφιών περίπου 60-80%, παρέχουν καλά αποτελέσματα. Στους σταυρούς που είχαν πολύπλοκο διάκοσμο, παρατηρήθηκε πως χρειάζονται πέντε περιστροφές. Λόγω των πολύπλοκων χαρακτηριστικών και τεχνικών λεπτομερειών, χρειάστηκαν περισσότερες λήψεις, καθώς και φωτογραφίες λεπτομερειών για καλύτερη απεικόνιση.

Για ένα απλό μοντέλο, με ένα κινητό με 8-megarixel κάμερα, μπορεί κάποιος να παράγει αποδεκτά αποτελέσματα. Για καλύτερα αποτελέσματα χρειαζόμαστε μία κάμερα τύπου DSLR από 18-megarixel και πάνω. Τα περισσότερα smartphone μετά το 2020 έχουν πολύ καλές κάμερες για βίντεο. Χρησιμοποιήθηκε η κάμερα του S20+ της Samsung, με μορφή εγγραφής 8K (7680×4320) και 24 καρτέ ανά δευτερόλεπτο. Η ποιότητα βίντεο καλύπτει τις ανάγκες μας πλήρως. Οι ρυθμίσεις της βιντεοκάμερας δεν διαφέρουν με την φωτογραφική κάμερα, όμως καλό είναι να δοκιμαστούν και διαφορετικές ρυθμίσεις.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα κατά την βιντεοσκόπηση είναι η αυτόματη εστίαση και Motion blur. Το S20+ μας λύνει αυτά τα προβλήματα με το VDIS για το Motion Blur (θόλωμα κατά την κίνηση). Το Video Digital Image Stabilization (VDIS) είναι μια τεχνική που μειώνει και σχεδόν έχει εξαλείψει το θόλωμα. Αντίθετα, η οπτική σταθεροποίηση εικόνας (OIS), λειτουργεί με

επεξεργασία της εικόνας μετά τη λήψη της και εφαρμόζει αλγόριθμους για να διορθώσει τις ανεπιθύμητες κινήσεις. Η κάμερα διαθέτει και ενσωματωμένο Tracking AF. Το Tracking AF είναι μια λειτουργία αυτόματης εστίασης στην οποία η κάμερα αναλύει συνεχώς ένα θέμα και προβλέπει πού θα κινηθεί για να διατηρήσει την εστίαση.



*Εικόνα 28: Νοητοί Δακτύλιοι πορείας της φωτογραφικής κάμερας στον σταυρού 3.*

Για την φωτογραμμετρία υπάρχουν κάποιες γενικές οδηγίες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- Αντικείμενα με διαφανή στοιχεία δεν αποτυπώνονται καλά.
- Αν το αντικείμενο γυαλίζει, μπορεί να ψεκαστεί με σπρέι για σκανάρισμα, π.χ. Aesub blue. Σε τεχνουργήματα όμως καλό είναι να αποφεύγεται, γιατί δεν γνωρίζουμε τις επιπτώσεις που θα έχει το σπρέι στο αντικείμενο σε βάθος χρόνου. Τα αποτελέσματα δείχνουν θετικά πορίσματα και πως δεν τα επηρεάζουν, όμως καθώς είναι νέο υλικό, καλό είναι να είμαστε επιφυλακτικοί.
- Το φόντο πρέπει να έρχεται σε αντίθεση με τα χρώματα των αντικειμένων. Μια εφημερίδα που δεν έχει τα ίδια χρώματα αρκεί.
- Οι καλύτερες περιβαλλοντικές συνθήκες για φωτογράφιση είναι μια συννεφιασμένη μέρα. Ένας μη μεταβαλλόμενος φωτισμός είναι επίσης αποδεκτός.
- Για ένα απλό μοντέλο, 50 με 60 φωτογραφίες είναι συνήθως αρκετές. Για ένα πολύπλοκο μοντέλο, που θέλουμε να αποδώσουμε όλες τις λεπτομέρειες με όσο

περισσότερη ακρίβεια γίνεται, 60-80 φωτογραφίες ανά νοητό δακτύλιο (συνολικά 300 με 400 φωτογραφίες) είναι συνήθως ιδανικές.

- Το αντικείμενο θα πρέπει να καταλαμβάνει μεγάλο μέρος σε κάθε φωτογραφία. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν όταν το αντικείμενο σε ένα τουλάχιστον δακτύλιο φαίνεται ολόκληρο καθ' όλη την περιστροφή, όπως στον δακτύλιο 4 (Εικ.28). Ο δακτύλιος 4 φωτογραφήθηκε με στόχο να καταγράψει όλο το αντικείμενο, χωρίς να έχει κλίση η κάμερα ως προς το σταυρό. Οι φωτογραφίες στον δακτύλιο 1 τραβήχτηκαν με κοντινό πλάνο και υψηλή γωνία λήψης, ενώ στον δακτύλιο 3 με κοντινό πλάνο και χαμηλή γωνία λήψης. Στο δακτύλιο 1 και 3 η φωτογράφιση έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχουν κενά κατά την ψηφιοποίηση του σταυρού. Το ίδιο έγινε αντίστοιχα στους δακτυλίους 2 και 5, για να μην υπάρχουν καθόλου κενά. Αυτό εφαρμόζεται καλύτερα στους πιο πολύπλοκους σταυρούς που χρειάζονται παραπάνω λήψεις. Σε πιο απλούς σταυρούς, όπως ο σταυρός 4, δεν είναι αναγκαίο, καθώς δεν είναι ιδιαίτερα απαιτητικός, έχει επίπεδες απλές επιφάνειες, χωρίς ανάγλυφο, με ματ επιφάνεια, χωρίς αντανakλάσεις στο μέταλλο.
- Δεν κουνάμε ποτέ το αντικείμενο κατά την φωτογράφιση. Αν το αντικείμενο κουνηθεί, έστω και ελάχιστα, τότε πρέπει να ξαναρχίσουμε την φωτογράφιση. Τα προγράμματα θεωρούν πως προσπαθούμε να βάλουμε δύο διαφορετικές φωτογραφίες σε ένα μοντέλο, με αποτέλεσμα να φτιάχνει δύο μοντέλα το ένα μέσα στο άλλο.

Όσο για τα NeRF, οι γενικοί κανόνες ισχύουν με κάποιες μικροαλλαγές, καθώς δεν μιλάμε για φωτογράφιση αλλά για συνεχή λήψη με βιντεοκάμερα.

- Τα αντικείμενα με διαφανή στοιχεία αποτυπώνονται καλύτερα από τη φωτογραμμετρία, αλλά παραμένουν κάποια προβλήματα.
- Αν το αντικείμενο γυαλίζει, μπορεί να ψεκαστεί με σπρέι για σκανάρισμα, π.χ. Aesub blue. Ισχύουν οι προβληματισμοί που αναφέρθηκαν παραπάνω.
- Το φόντο πρέπει να έρχεται σε αντίθεση με τα χρώματα των αντικειμένων. Λόγω του τρόπου απεικόνισης των NeRF, συγχέεται το φόντο με το αντικείμενο.
- Οι καλύτερες περιβαλλοντικές συνθήκες για φωτογράφιση είναι μια συνεφιασμένη μέρα ή ένας μη μεταβαλλόμενος φωτισμός.
- Για ένα απλό μοντέλο, 50 με 60 δευτερόλεπτα είναι συνήθως αρκετά. Το πρόγραμμα σπάει το βίντεο σε δευτερόλεπτα και διαλέγει συνήθως 2 καρέ ανά

δευτερόλεπτο. Για ένα πολύπλοκο μοντέλο, που θέλουμε να αποδώσουμε όλες τις λεπτομέρειες με όσο περισσότερη ακρίβεια γίνεται, 120 δευτερόλεπτα βίντεο συνήθως είναι ιδανικό.

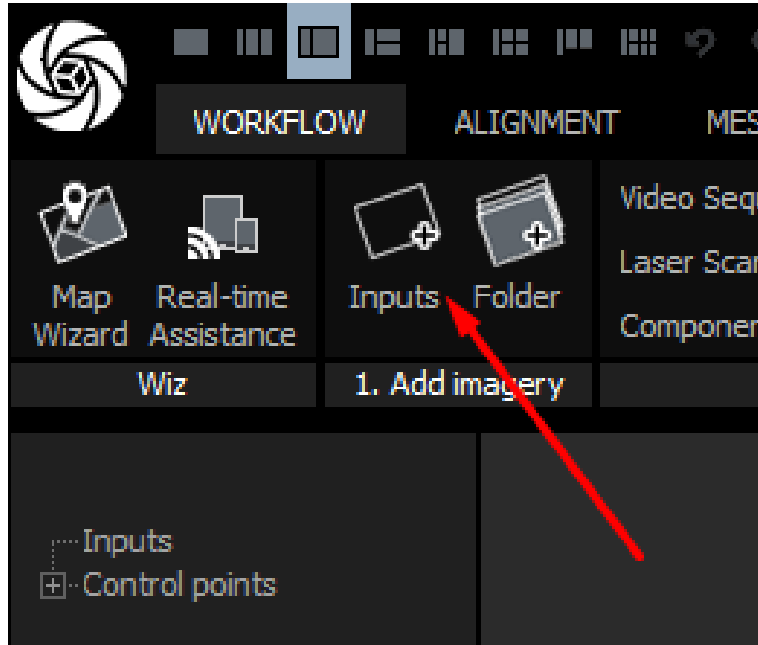
- Το αντικείμενο θα πρέπει να πιάνει μεγάλο μέρος του βίντεο. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν όταν το αντικείμενο σε ένα τουλάχιστον νοητό δακτύλιο φαίνεται ολόκληρο καθ' όλη την περιστροφή. Καθώς το βίντεο είναι μια συνεχής λήψη, εφαρμόζουμε τα ίδια βήματα, αλλά χωρίς να υπάρχουν σταματήματα ή απότομες κινήσεις. Πάλι τραβάμε με τον ίδιο τρόπο, ώστε ένας δακτύλιος να πιάνει ολόκληρο το σταυρό σε όλη την περιστροφή, ένας δακτύλιος στο πάνω τμήμα και ένας στο κάτω τμήμα με υψηλή γωνία κλίσης και τέλος ένας δακτύλιος στο πάνω τμήμα και ένας στο κάτω τμήμα με χαμηλή γωνία κλίσης. Στην περίπτωση των NeRF, κοντινά και αρκετά πλάνα ίσως φανούν χρήσιμα, αλλά δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφορά με ή χωρίς αυτά.
- Δεν κουνάμε ποτέ το αντικείμενο κατά την φωτογράφιση/βιντεοσκόπηση.

#### 2.5.6 Εισαγωγή φωτογραφιών στο κάθε πρόγραμμα

Τα προγράμματα φωτογραμμετρίας με τα χρόνια γίνονται όλο και πιο γρήγορα και τα μοντέλα που ήθελαν μερικές μέρες προκειμένου να ολοκληρωθούν, πλέον θέλουν μερικές ώρες ή και λεπτά, αν και αυτό διαφέρει ανάλογα με τον όγκο των φωτογραφιών. Η εξέλιξη των υπολογιστών βοήθησε πολύ στην επιτάχυνση της όλης διαδικασίας. Προτείνεται ένας υπολογιστής με 16Gb RAM και μια κάρτα γραφικών με NVIDIA CUDA-enabled με ελάχιστο μέγεθος V-RAM 6 GB.

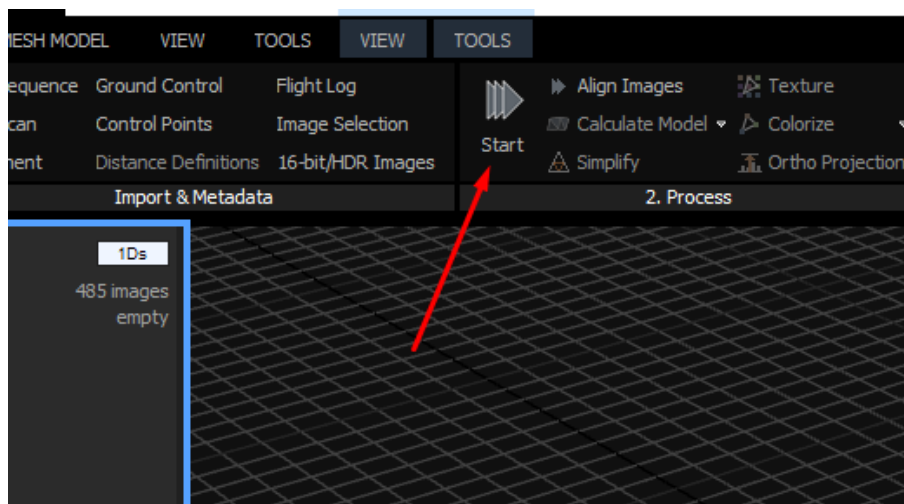
Τα προγράμματα Agisoft Metashape και Reality Capture προσφέρουν τη δυνατότητα Batch processing. Σε περιπτώσεις μεγάλου αριθμού αντικειμένων είναι μια πολύ βοηθητική ρύθμιση που ελαφρύνει το φόρτο εργασίας.

Στην περίπτωση του Reality Capture είναι μια αρκετά εύκολη διαδικασία, χωρίς ο χρήστης να χρειάζεται να ρυθμίσει κάτι μόνος του. Στο κεντρικό μενού στην καρτέλα *Workflow* απλά εισάγουμε τις φωτογραφίες μας με επιλογή από το φάκελο και τράβηγμα στο πρόγραμμα (Drag and Drop) ή επιλέγουμε στο *1. Add imagery* την επιλογή *Inputs or Folder* και βρίσκουμε τις φωτογραφίες μας (Εικ. 29).



Εικόνα 29: Βήμα 1 εισαγωγή φωτογραφιών.

Όταν ολοκληρωθεί η φόρτωση των φωτογραφιών στο πρόγραμμα, στο κεντρικό μενού πάλι επιλέγουμε στο 2. *Process* την επιλογή *Start* (Εικ. 30). Ακολουθώντας τα βήματα αυτά το Reality Capture θα πραγματοποιήσει τα βήματα 8-13 αυτόματα (βλ. Συνοπτική περιγραφή της διαδικασίας).



Εικόνα 30: Βήμα Έναρξη της ψηφιοποίησης.

Αφού το πρόγραμμα ολοκληρώσει το μοντέλο μας, μπορούμε να το εξάγουμε χρησιμοποιώντας το μενού 3. *Output*. Επιλέγουμε την εντολή *Export*. Θα μας οδηγήσει σε ένα νέο παράθυρο με τίτλο *Export Your Creation* και εμείς διαλέγουμε σε τι μορφή θέλουμε να εξάγουμε το μοντέλο μας. Δεν χρειάζεται να αλλάξουμε κάποιες από τις παραμέτρους, οι προκαθορισμένες



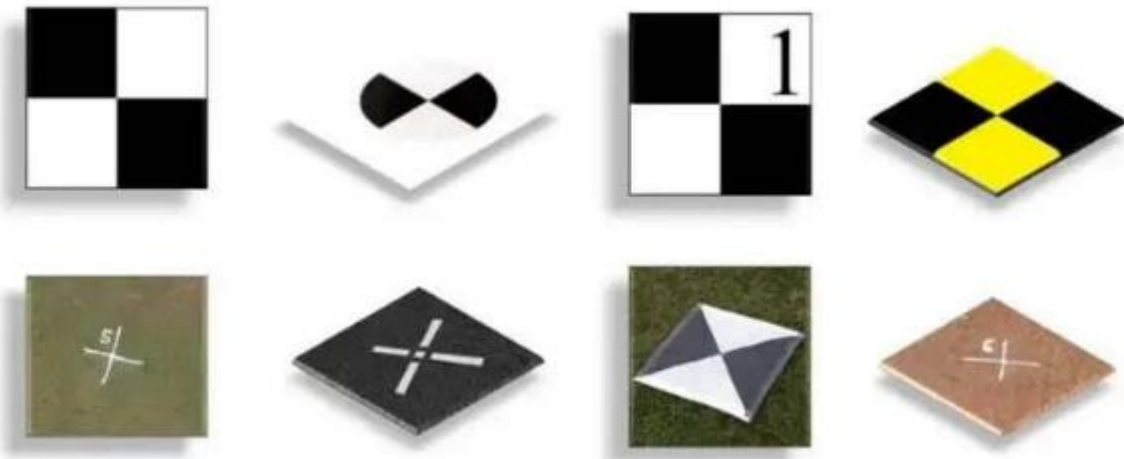
είναι καλές. Η επιλογή .obj είναι η πιο συνηθισμένη, αν και ανάλογα με τη χρήση του αντικειμένου μπορούμε να επιλέξουμε και άλλους τύπος αρχείων.



*Εικόνα 31: Βήμα ψηφιοποίησης.*

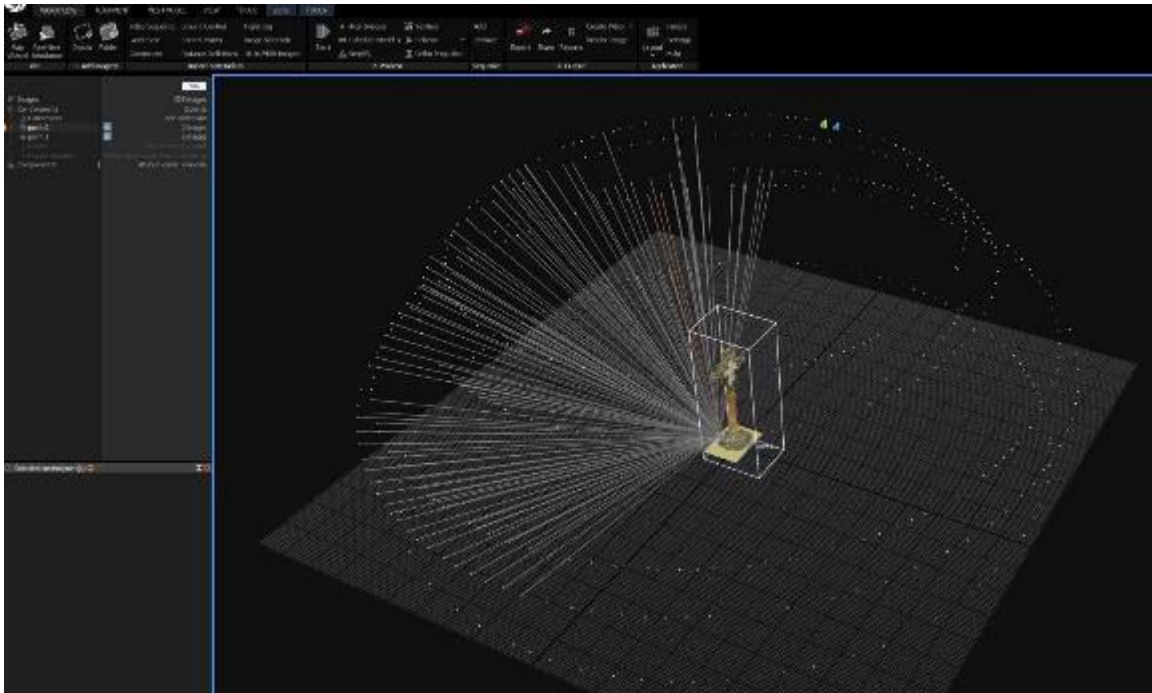
Το πρόγραμμα είναι φιλικό προς το χρήστη με ένα περιβάλλον αρκετά κατανοητό για αρχάριους. Τα 3D μοντέλα που παράγονται με αυτή την διαδικασία είναι συνήθως ολοκληρωμένα περίπου στο 80%, δηλαδή με αντιστοιχία φωτογραφιών 404/505. Το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικά σε μεγάλο βαθμό. Αν κάποιος θέλει να πετύχει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα, με ποσοστό αντιστοιχίας σχεδόν 100%, θα πρέπει να κάνει μερικά επιπλέον βήματα.

Τα σημεία αναφοράς (*Control Points*) είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που μπορεί κανείς να αξιοποιήσει ώστε να επιτύχει καλύτερα αποτελέσματα, τοποθετώντας τα περιμετρικά από το αντικείμενο (Εικ. 32). Παρόμοιο αποτέλεσμα μπορεί κανείς να πετύχει χρησιμοποιώντας τα control points μέσα στην εφαρμογή.

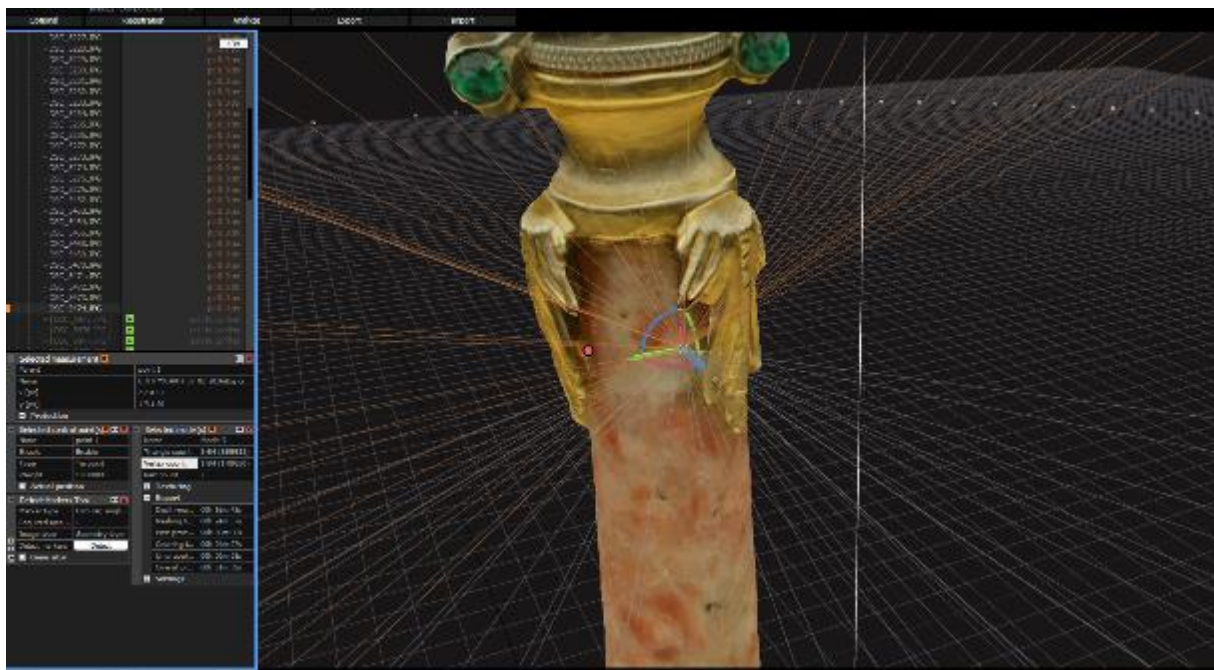


*Εικόνα 32: Διαφορετικά είδη σημείων αναφοράς*

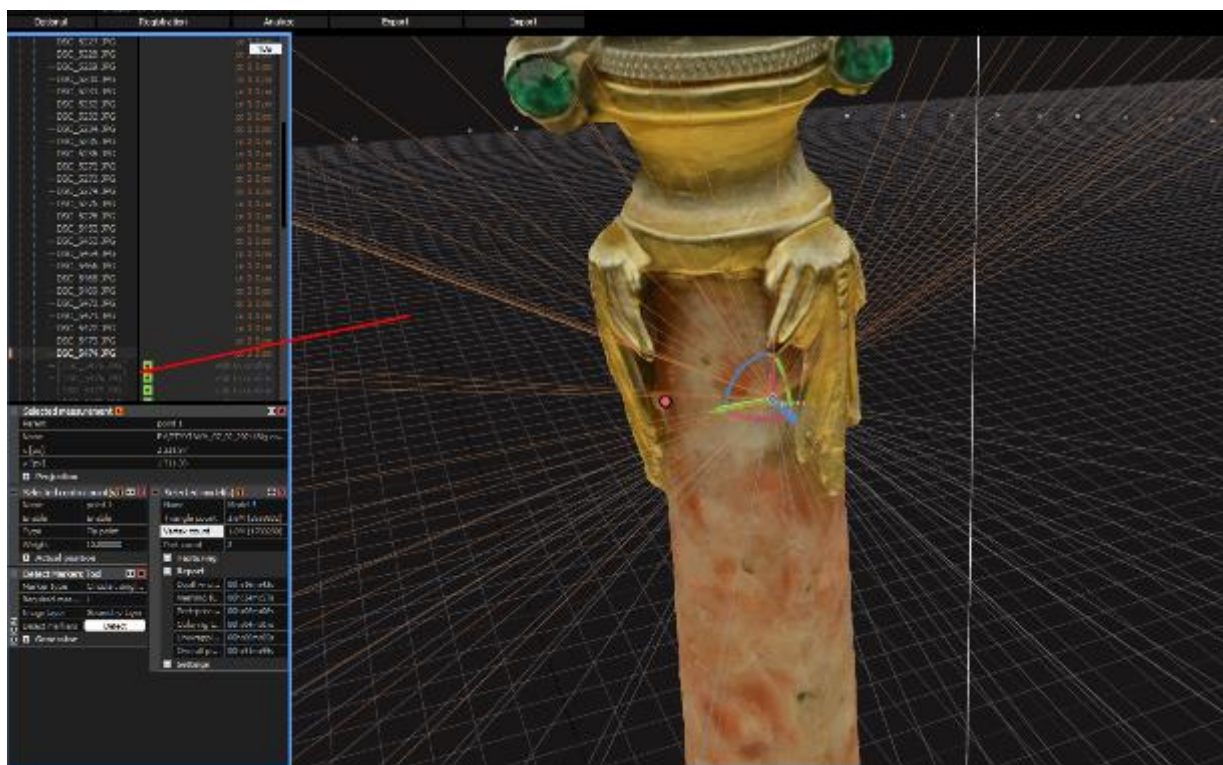
Αυτή η διαδικασία είναι για άτομα που έχουν μια εξοικείωση με 3D μοντέλα. Τα control points μέσα στην εφαρμογή βοηθάνε να δείξουν, αν το σημείο που επιλέγουμε είναι όντως αυτό που αντιλαμβάνεται το πρόγραμμα. Όταν επιλεγθεί ένα σημείο, θα μας εμφανίσει πολλές ευθείες γραμμές που είναι σημεία από τις φωτογραφίες που έχουμε τραβήξει και το πρόγραμμα μας ζητάει να επιβεβαιώσουμε πως αντιστοιχούν (Εικ. 33). Στην περίπτωση που αντιστοιχούν σωστά, επιλέγουμε την φωτογραφία και πιέζουμε το πράσινο σύμβολο. Έτσι το πρόγραμμα γνωρίζει πως αυτό το σημείο το βλέπει από έναν X αριθμό φωτογραφιών. Άρα θα έχουμε καλύτερη αλληλοεπικάλυψη (Εικ. 34-35).



*Εικόνα 33: Αυτοματοποιημένη διαδικασία αντιστοίχισης φωτογραφιών*



Εικόνα 34: Κοντινό πλάνο από το σημείο αντιστοίχισης.

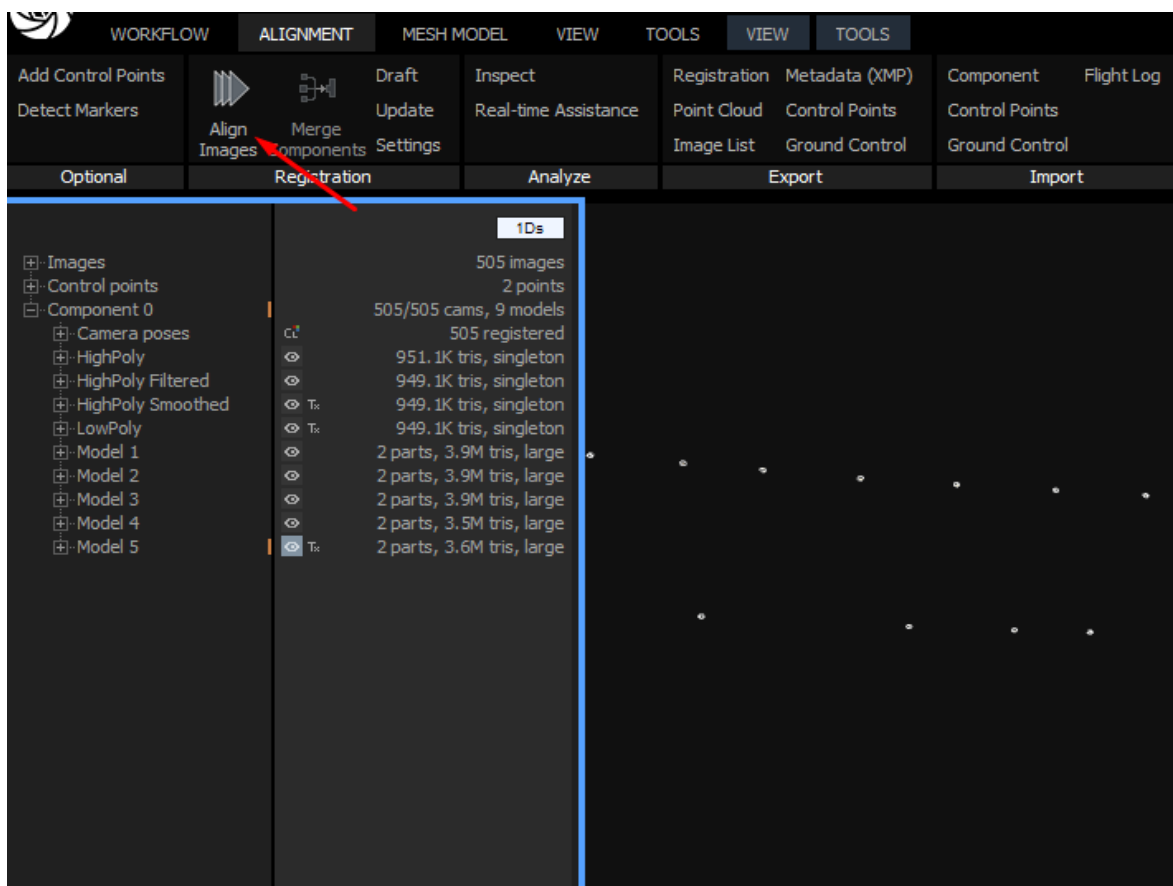


Εικόνα 35: Επιβεβαίωση περισσότερων σημείων για καλύτερη εκπαίδευση του προγράμματος.

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε πως τα σημεία που θα επιλέξουμε πάνω στον σταυρό δεν έχουν πολύ σημασία, αρκεί και μόνο που επιβεβαιώθηκε ότι αυτές οι φωτογραφίες αντιστοιχούν σε αυτό που βλέπει.

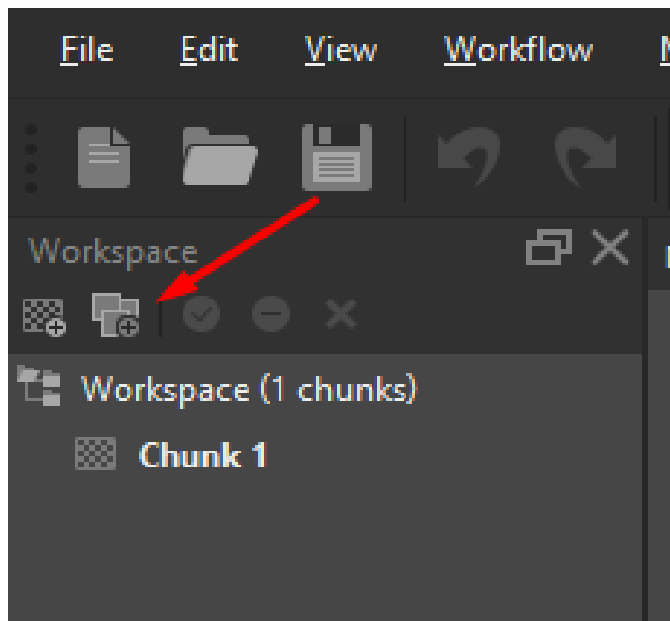
Αν δεν υπάρχουν αρκετές αντιστοιχίες σε φωτογραφίες, κάποιες φορές το αντικείμενο παρουσιάζει κενό ή απώλεια ενός τμήματος. Παρατηρήθηκε πως η τοποθέτηση control point κοντά στο σημείο που παρουσιάζεται πρόβλημα απέδωσε καλύτερα αποτελέσματα.

Τέλος για να εφαρμόσουμε τα control points στο μοντέλο μας, πηγαίνουμε στο μενού *ALIGNMENT* και επιλέγουμε την επιλογή *Align Images* (Εικ.36). Μετά την ολοκλήρωση της ευθυγράμμισης των φωτογραφιών, ελέγχουμε αν τα κενά ή τα προβλήματα παραμένουν. Στην περίπτωση που παραμένουν, επαναλαμβάνουμε την διαδικασία. Αν πάλι δεν έχουμε επιτυχία, πιθανόν να έχουμε σφάλμα κατά την φωτογράφιση και πιθανώς θα χρειαστεί επανάληψη της φωτογράφισης του αντικειμένου. Στην περίπτωση που τα προβλήματα επιλύθηκαν, τότε εξάγουμε το τελικό μοντέλο στην επιθυμητή μορφή αρχείου.



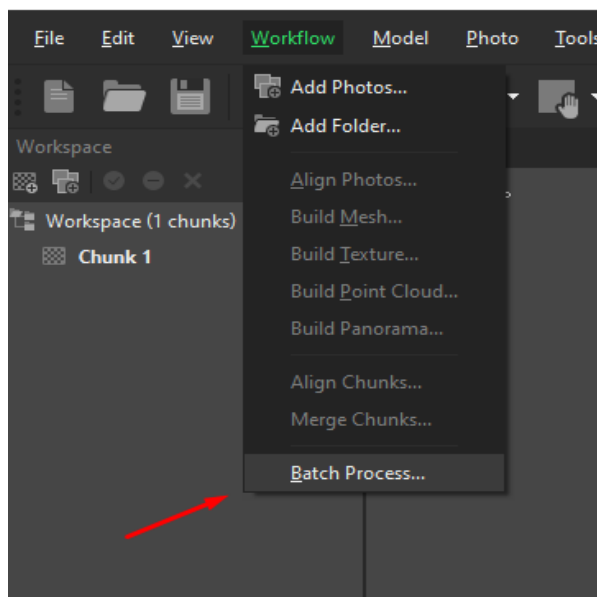
Εικόνα 36: Ευθυγράμμιση των Control Points

Το Agisoft Metashape προσφέρει την ίδια αυτοματοποιημένη διαδικασία, αλλά θα χρειαστεί ο χρήστης να δημιουργήσει τις εντολές. Στο κεντρικό μενού επιλέγουμε προσθήκη φωτογραφιών (Εικ 37), εισάγουμε τις φωτογραφίες μας με απλή επιλογή από τον φάκελο ή με επιλογή από τον φάκελο και τράβηγμα στο πρόγραμμα (Drag and Drop).



Εικόνα 37: Επιλογή προσθήκης φωτογραφιών

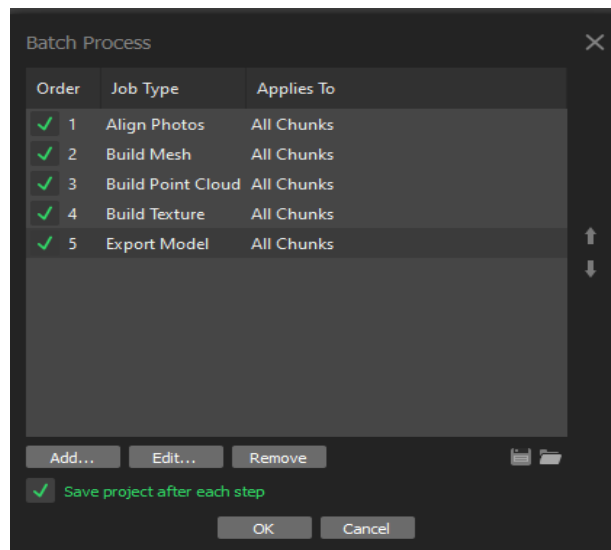
Όταν ολοκληρωθεί η φόρτωση των φωτογραφιών στο πρόγραμμα, στο κεντρικό μενού επιλέγουμε το *workflow* (Εικ.38). Ανοίγοντας την επιλογή *workflow*, βλέπουμε στο κάτω μέρος την επιλογή *Batch process*. Από εκεί και πέρα χρειάζεται κανείς αρκετή εμπειρία για να διαχειριστεί αυτό το πρόγραμμα.



Εικόνα 38: Επιλογή *Batch process*

Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά απαιτητική και θα πρέπει ο χρήστης να έχει εμπειρία σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, αλλά και στη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων ψηφιοποίησης για να μπορέσει να δημιουργήσει μια σωστή αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων. Στην περίπτωση που ο χρήστης κατανοεί το πρόγραμμα, μπορεί να

δημιουργήσει μια σειρά φτιαγμένη ακριβώς πάνω στις απαιτήσεις του, κάτι που τα υπόλοιπα προγράμματα δεν προσφέρουν στο χρήστη (Εικ. 39).



Εικόνα 39: Παράδειγμα Batch process

Το Agisoft Metashape είναι ένα πρόγραμμα καθαρά απευθυνόμενο για επαγγελματίες, γιατί δίνει ελευθερία δυνατοτήτων επέμβασης και επεξεργασίας σε όλα τα στάδια «χτισίματος» των τρισδιάστατων μοντέλων. Ενώ το Reality Capture απευθύνεται σε πιο αρχάριους, αλλά και σε επαγγελματίες, με περισσότερο αυτοματοποιημένα στάδια επεξεργασίας και λιγότερες δυνατότητες επέμβασης-διόρθωσης τυχόν αστοχιών κατά την διαδικασία «χτισίματος» των τρισδιάστατων μοντέλων

Το Luma AI προσφέρει μια τελείως αυτοματοποιημένη διαδικασία, όπου ο χρήστης χρειάζεται να μεταβεί στην ιστοσελίδα της εταιρείας ή να μπει στην εφαρμογή κινητού Luma AI και να ανεβάσει το βίντεο ή έναν φάκελο .zip με τις φωτογραφίες στο Server της εταιρείας, και να περιμένει τα αποτελέσματα.

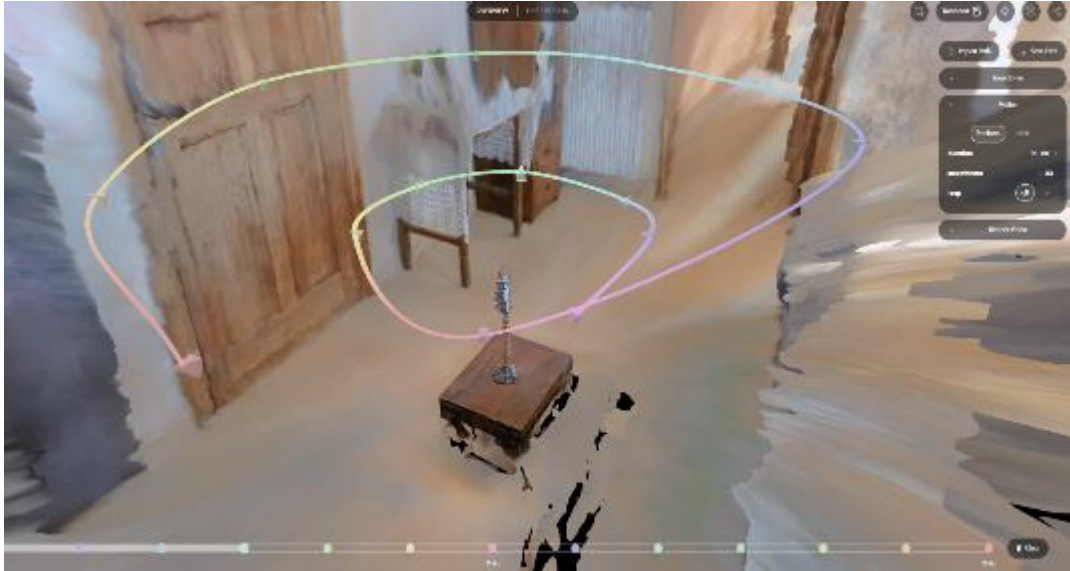
Σύμφωνα με την εταιρία, πρέπει να ακολουθούνται οι παρακάτω κανόνες για καλύτερα αποτελέσματα:

#### Για βίντεο:

- Απενεργοποίηση της ρύθμισης HDR κατά τη λήψη βίντεο.
- Καταγραφή της σκηνής ή του αντικειμένου περιστρέφοντας σε βρόγχους γύρω από το αντικείμενο.
- Ιδανικά η λήψη θα πρέπει να περιλαμβάνει 3 ύψη βρόγχων. Η κάμερα στο ύψος του στήθους, η κάμερα λίγο πάνω από το κεφάλι με κλίση προς τα κάτω και τέλος η κάμερα από το ύψος των γονάτων προς το κέντρο της σκηνής.
- Η λήψη να γίνεται αργά για να μειωθεί το θάμπωμα.

- Τα αρχεία μπορούν να έχουν μορφή βίντεο ή φάκελο .zip με διάφορα βίντεο.
- Το μέγιστο μέγεθος αρχείου είναι 5 GB.

Όταν το μοντέλο ολοκληρωθεί μπορούμε να μπούμε στην προεπισκόπηση. Το πρόγραμμα δημιουργεί μια διαδρομή με την κάμερα την οποία μπορούμε να την αποθηκεύσουμε ή, αν δεν είναι επιθυμητή, να την τροποποιήσουμε και να δημιουργήσουμε μια νέα διαδρομή θέασης (Εικ.40).



*Εικόνα 40: Μενού επεξεργασίας διαδρομής της κάμερας με το Luma AI*

Μπορούμε να ρυθμίσουμε την διαδρομή, το χρόνο που θα κάνει για να ολοκληρώσει την τροχιά, πόσο ομαλή θα είναι, την ποιότητα εξαγωγής του βίντεο και την τροχιά της κάμερας. Μπορούμε να αφαιρέσουμε και το φόντο περιμετρικά από το αντικείμενο.

## 3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 3.1 Δομή παρουσίασης αποτελεσμάτων

Για την καλύτερη κατανόηση των δυνατών σημείων, των μειονεκτημάτων και των δυνατοτήτων των δύο μεθόδων τρισδιάστατης μοντελοποίησης που ακολουθήσαμε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα συγκριτικά καταχωρημένα ανά αντικείμενο και μέθοδο μοντελοποίησης.

Τα κείμενα παρουσίασης και συγκριτικής ανάλυσης συμπληρώνονται με την παρουσίαση αποτελεσμάτων με συγκριτικό πίνακα Likert που επισυνάπτεται στο παράρτημα ένα της παρούσας πτυχιακής εργασίας, παρέχοντας ένα συνοπτικό οπτικό βοήθημα των αποτελεσμάτων της τρισδιάστατης ψηφιακής μοντελοποίησης με αυτές τις δύο μεθόδους, όπως εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

### 3.2 Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων μοντελοποίησης ψηφιακής φωτογραμμετρίας και NeRF (Neural Radiance Fields)

Τα αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκαν στην ομάδα Α προέρχονται από ιδιωτική συλλογή. Αντίθετα τα αντικείμενα της ομάδας Β, λόγω της ιστορικής και αρχαιολογικής τους αξίας, δεν μπορούσαν να απομακρυνθούν από το χώρο του Μουσείου και των ενοριών, αλλά ούτε να δοκιμαστούν πειραματικές μέθοδοι που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την κατάσταση του αντικειμένου. Για παράδειγμα η χρήση σπρέι Aesub blue για σκανάρισμα, ειδικά στον σταυρό 6 της ομάδας Β δεν επιτρέπεται, ούτε η απομάκρυνση, καθώς υπάρχει κίνδυνος φθοράς κατά τη μεταφορά. Ο χρόνος που μας δόθηκε για την φωτογράφιση στους παλαιότερους σταυρούς, σε κάθε περίπτωση, ήταν περιορισμένος.

Μερικές λεπτομερείς κάθε σταυρού είναι δύσκολες στην απεικόνιση και πρέπει να δώσουμε ιδιαίτερη έμφαση για να μην επηρεάσουν την απόδοση του αντικειμένου. Έγινε μια δοκιμαστική φωτογράφιση με λίγες φωτογραφίες (40-60) για να εντοπιστούν τα προβλήματα που πιθανόν να αντιμετωπίσουμε. Στη δοκιμή αυτή βάλουμε το αντικείμενο πάνω σε τραπέζι, χωρίς κάποιο φόντο στη βάση των σταυρών. Βάλουμε τις φωτογραφίες στο Reality Capture και περιμέναμε να δούμε τα αποτελέσματα.

Στην περίπτωση της φωτογραμμετρίας, τελικά επιλέξαμε να γίνει φωτογράφιση με μονόχρωμο φόντο και σταθερό φωτισμό, για να είναι καλύτερη η απόδοση του αντικειμένου. Το



σημαντικότερο πρόβλημα κατά τη φωτογράφιση ήταν ο φωτισμός. Οι φωτιστικές πηγές ήταν τοποθετημένες σε κλίση 45 μοιρών, που ενδείκνυται για φωτογράφιση μεταλλικών αντικειμένων.

Για τα NeRF, επειδή φωτογραφίζονται σε ανοιχτό χώρο και όχι σε στούντιο, πριν ξεκινήσουμε την φωτογράφιση καθαρίσαμε περιμετρικά τον χώρο και απομακρύνθηκαν διάφορα αντικείμενα.

Σε κάθε σταυρό παρατηρήθηκαν οι ιδιαιτερότητες και δημιουργήσαμε ένα πλάνο για την φωτογραμμετρία και ένα πλάνο για τα NeRF ανάλογα με το σε ποια σημεία πρέπει να δοθεί έμφαση.

Τα περισσότερα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διαδικασία ψηφιοποίησης ανά σταυρό παρατίθενται στη συνέχεια.

### 3.2.1 Σταυρός 1

Ο σταυρός 1 κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης περιμέναμε να παρουσιάσει προβλήματα στην απεικόνιση των υαλωμάτων, να αναδείξει το ανάγλυφο στο εσωτερικό και να απεικονιστούν σωστά οι απολήξεις. Τα προβλήματα αυτά ήταν αναμενόμενα, καθώς οι διαστάσεις του σταυρού είναι μικρότερες από 17cm, αλλά και τα υλικά κατασκευής είναι ιδιαίτερα ανακλαστικά.

Ο σταυρός 1 είναι γενικά μέτριας δυσκολίας. Το Reality Capture απέδωσε το αντικείμενο σε έναν μέτριο βαθμό.

Παρατηρήθηκε πως μερικές απολήξεις, τα χρωματιστά υαλώματα, το ανάγλυφο και η βάση παρουσίασαν πρόβλημα.

#### **Φωτογραμμετρία:**

Δόθηκε έμφαση στα προβληματικά σημεία (Εικ. 41-42).



*Εικόνα 41: Έμφραση στις απολήξεις*



*Εικόνα 42: Λεπτομέρεια απολήξεων*

Το υλικό κατασκευής ανακλούσε το φως και δημιουργούσε λευκά σημεία κατά τη φωτογράφιση. Όσο για τα σημεία που ήταν δίπλα στα φωτεινά, γινόντουσαν σκούρα και ανακλούσαν το φόντο. Έγιναν δοκιμές με λευκό φόντο, που αποδείχθηκαν ακόμα χειρότερες. Ο σταυρός είχε ακόμα περισσότερες ανακλάσεις λευκού και το Reality Capture δεν το απέδιδε (Εικ. 43).



*Εικόνα 43: Προβλήματα κατά την ψηφιοποίηση.(Agisoft)*

Το μοντέλο δεν αποδόθηκε σωστά. Τα χρώματα, οι φόρμες και η υφή ήταν μη ικανοποιητικά.

### NeRF:

Με τα NeRF περιμέναμε να έχουμε τα ίδια προβλήματα με την φωτογραμμετρία, δηλαδή προβλήματα στις απολήξεις, στα υαλώματα, τη βάση και το ανάγλυφο. Τα προβλήματα όμως ήταν διαφορετικά. Παρατηρήθηκαν προβλήματα στην απόδοση των λεπτομερειών στην πίσω όψη του σταυρού (Εικ. 44). Οι πληροφορίες χάνονται και δεν αποδίδεται το ανάγλυφο του σταυρού (Εικ.45). Πιθανόν να φταίει πως δεν είναι έντονο το ανάγλυφο.



*Εικόνα 44: Πίσω όψη NeRF*



*Εικόνα 45: Δεν αποδίδεται το ανάγλυφο*



*Εικόνα 46: Λεπτομέρεια παράστασης Αγίου Κοσμά*

Η μπροστά παράσταση με τον Άγιο Κοσμά αποδόθηκε καλύτερα από την πίσω όψη, όμως παραμένει μια όχι και τόσο καλή απόδοση. Παρατηρείται επίσης μια απορρόφηση των χρωμάτων από τις γύρω επιφάνειες. Το φως δεν αποδίδεται σωστά. Ο ασημένιος σταυρός ανάλογα με τη γωνία θέασης τείνει να μοιάζει με χρυσό χρωματικά (Εικ. 46).

Τα NeRF δεν αποδίδουν καλά τις λεπτομέρειες, ακόμα και αν γίνει αναλυτική φωτογράφιση και βιντεοσκόπηση. Δεν μπορεί κανείς να βασιστεί στις λεπτομέρειές τους ούτε να εξάγει ακριβείς μετρήσεις.

### 3.2.2 Σταυρός 2

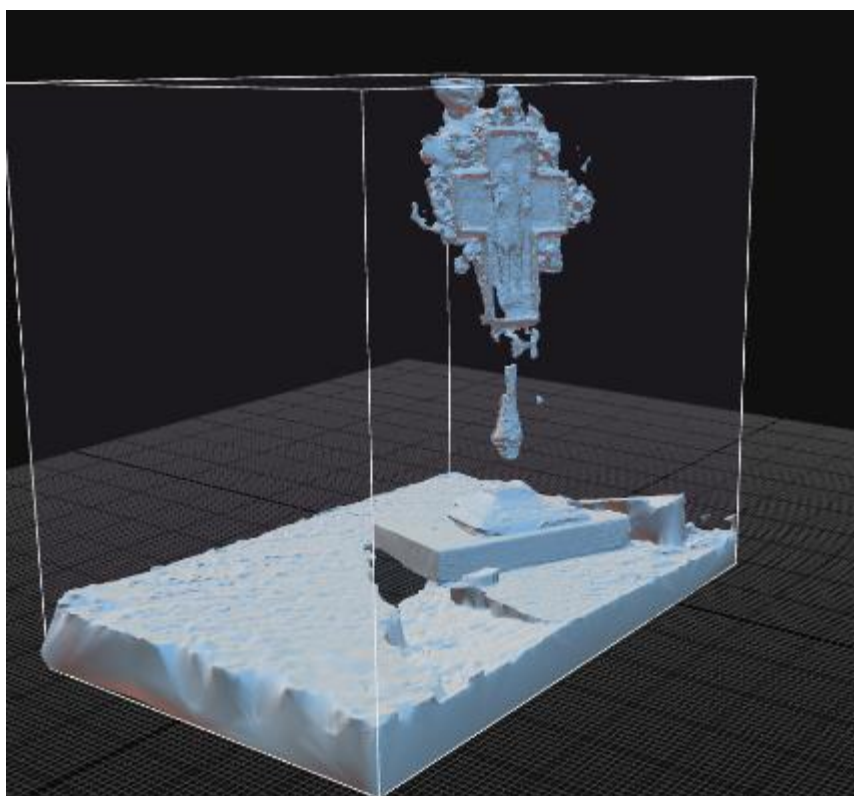
Ο σταυρός 2 κατά την διαδικασία μοντελοποίησης περιμέναμε να παρουσιάσει τα ίδια προβλήματα με τον σταυρό 1 στην απεικόνιση των υαλωμάτων, να αναδείξει το ανάγλυφο στο εσωτερικό και να απεικονιστούν σωστά οι απολήξεις. Τα προβλήματα αυτά ήταν αναμενόμενα, καθώς οι διαστάσεις των σταυρών είναι μικρότερες από 17 cm, αλλά και τα υλικά κατασκευής είναι ιδιαίτερα ανακλαστικά.

Ο σταυρός 2 είναι ιδιαίτερα δύσκολος. Σε αντίθεση με τον σταυρό 1, ο χρυσός σταυρός είναι περισσότερο γυαλιστερός και αντανακλά περισσότερο φως.

Το Reality Capture δεν απέδωσε το αντικείμενο.

#### **Φωτογραμμετρία:**

Το υλικό κατασκευής ανακλούσε το φως και δημιουργούσε λευκά σημεία κατά τη φωτογράφιση. Όσο για τα σημεία που ήταν δίπλα στα φωτεινά γινόντουσαν σκούρα και ανακλούσαν το φόντο. Έγιναν δοκιμές με μπεζ φόντο, που αποδείχθηκαν ακόμα χειρότερες (Εικ. 47-48).



*Εικόνα 47: Λεπτομέρεια από HighPoly το οποίο απέτυχε*



*Εικόνα 48: Λεπτομέρεια από Highly Poly Smoothed*

Ο σταυρός είχε ακόμα περισσότερα προβλήματα και το Reality Capture δεν τον απέδιδε. Το μοντέλο δεν αποδόθηκε σχεδόν καθόλου. Τα χρώματα, οι φόρμες και η υφή δεν αποδόθηκαν.

#### **NeRF:**

Με τα NeRF περιμέναμε να έχουμε τα ίδια προβλήματα με την φωτογραμμετρία, δηλαδή προβλήματα στις απολήξεις, στα υαλώματα, στη βάση, στα χρώματα και στο ανάγλυφο.

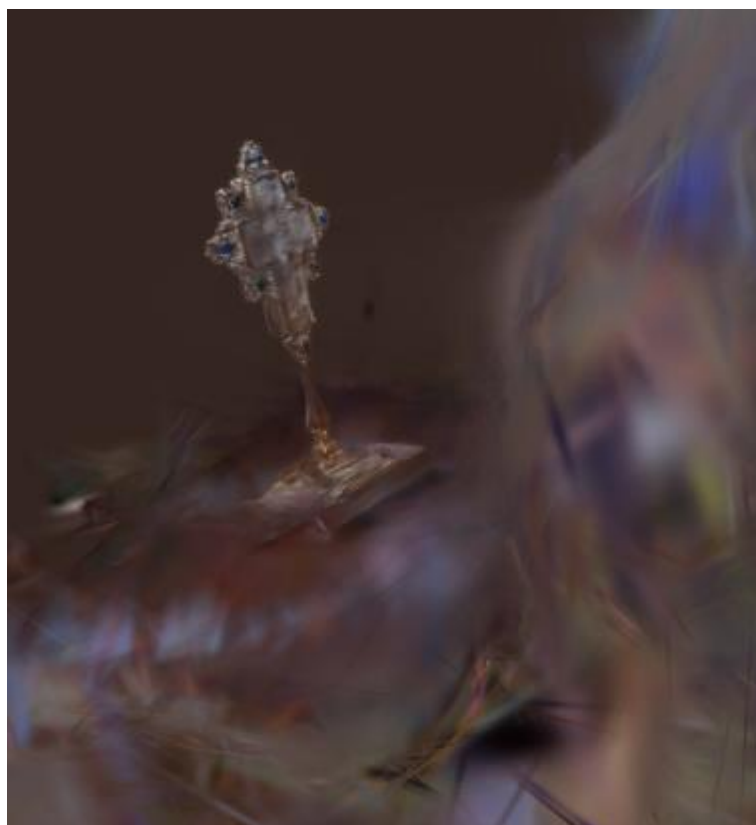
Τα προβλήματα δεν ήταν αυτά που περιμέναμε. Δεν παρατηρήθηκαν προβλήματα στην απόδοση των λεπτομερειών στην πίσω όψη του σταυρού.

Η πρόσθια παράσταση με τον Άγιο Κοσμά αποδόθηκε καλύτερα από τη δεξιά γωνία θέασης (Εικ. 49). Από τις υπόλοιπες γωνίες θέασης (Εικ. 50) δεν αποδόθηκε καθόλου. Παρατηρείται επίσης μια απορρόφηση των χρωμάτων από τις γύρω επιφάνειες. Το φως δεν αποδίδεται σωστά.

Τα NeRF δεν αποδίδουν καλά τις λεπτομέρειες, ακόμα και αν γίνει αναλυτική φωτογράφιση και βιντεοσκόπηση. Δεν μπορεί κανείς να βασιστεί στις λεπτομέρειες που μας δίνουν, ούτε να εξαγει ακριβές μετρήσεις (Εικ.51).



*Εικόνα 49: Δεξιά γωνία θέασης πρόσθιας παράστασης Αγίου Κοσμά*



*Εικόνα 50: Αριστερή γωνία θέασης παράστασης Αγίου Κοσμά*





*Εικόνα 51: Λεπτομέρεια πίσω πλευράς με ανάγλυφο σταυρό*

### 3.2.3 Σταυρός 3

Ο σταυρός 3 κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης περιμέναμε να παρουσιάσει προβλήματα στην απεικόνιση των υαλωμάτων, να αναδείξει το ανάγλυφο στο εσωτερικό, να απεικονιστούν σωστά οι απολήξεις, η λίθινη στήλη, τα μαργαριτάρια και οι χρυσαφί λεπτομέρειες. Τα περισσότερα προβλήματα προέρχονται από τα ίδια τα υλικά και τις διαστάσεις του. Αν και ο σταυρός 3 είναι ο μεγαλύτερος σταυρός από τους έξι (31 cm), το μέγεθός του δεν έχει πολύ μεγάλη διαφορά. Ο σταυρός 3 είναι μεγάλης δυσκολίας, καθώς συνδυάζει πολλά υλικά που είναι δύσκολο να αποδοθούν από τα προγράμματα ψηφιοποίησης.

Το Reality Capture απέδωσε το αντικείμενο σε μέτριο βαθμό.

Παρατηρήθηκε ότι τα αναμενόμενα προβλήματα εμφανίστηκαν και στο μοντέλο μας.

#### **Φωτογραμμετρία:**

Στην φωτογραμμετρία, το μοντέλο που αποδόθηκε ύστερα από αναλυτική φωτογράφιση, παρουσίασε θέματα με τη χρωματική απόδοση του σταυρού και την απόδοση των λεπτομερειών. Οι ανάγλυφες παραστάσεις δεν παρουσίασαν κάποιο πρόβλημα εκτός από τη χρωματική

απόδοση. Τα υαλώματα και τα μαργαριτάρια εκ πρώτης όψεως είχαν ιδιαίτερη επιτυχία. Ένα έμπειρο μάτι μπορεί όμως κατευθείαν να παρατηρήσει τις αστοχίες τους (Εικ. 52-57).

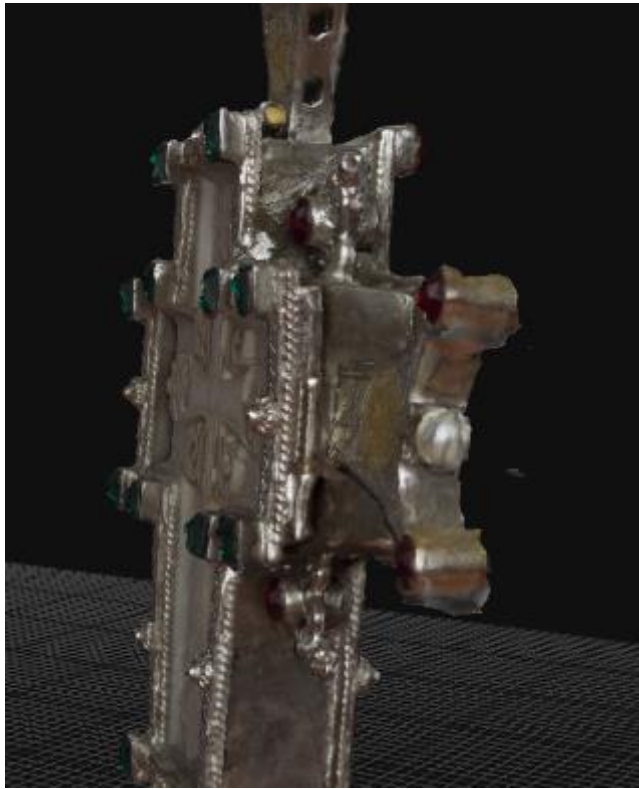
Οι αναλογίες του αντικειμένου είχαν προβλήματα και δεν μπορούσε κανείς να βασιστεί στις λεπτομέρειες ούτε να εξάγει ακριβές μετρήσεις.



*Εικόνα 52: Λεπτομέρεια στήλης σταυρού 3 (Reality Capture)*



*Εικόνα 53: Λεπτομέρεια στήλης σταυρού 3 (Agisoft)*



*Εικόνα 54: Λεπτομέρεια απολήξεων και μαργαριταριών σταυρού 3 (Reality Capture)*



*Εικόνα 55: Λεπτομέρεια απολήξεων και μαργαριταριών σταυρού 3 (Agisoft)*



*Εικόνα 56: Λεπτομέρεια παράστασης Αγίου Κοσμά σταυρού 3 (Reality Capture)*



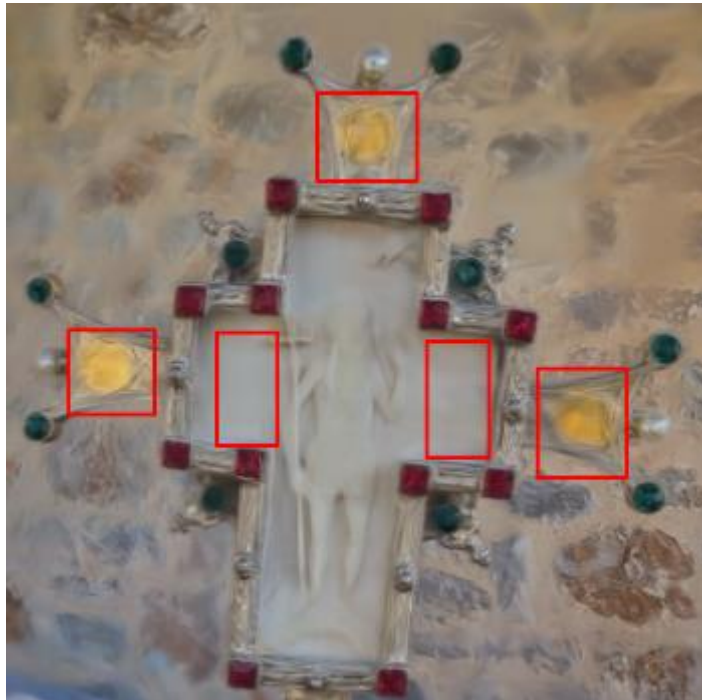
*Εικόνα 57: Λεπτομέρεια παράστασης Αγίου Κοσμά σταυρού 3 (Agisoft)*

### NeRF:

Με τα NeRF περιμέναμε να έχουμε τα ίδια προβλήματα με τη φωτογραμμετρία, δηλαδή στην απεικόνιση των υαλωμάτων, να αναδείξει το ανάγλυφο στο εσωτερικό, να απεικονιστούν σωστά οι απολήξεις, η λίθινη στήλη, τα μαργαριτάρια και οι χρυσαφί λεπτομέρειες.

Τα προβλήματα όμως ήταν διαφορετικά. Δεν παρατηρήθηκαν προβλήματα στα υαλώματα, στις απολήξεις, στα μαργαριτάρια και στη λίθινη στήλη. Η σφραγίδα του καλλιτέχνη εμφανίζεται. Παρατηρήθηκαν προβλήματα στην απόδοση των χρυσών λεπτομερειών σε όλη την έκταση του σταυρού. Οι λευκές λεπτομέρειες δεν αποδόθηκαν σωστά. Η παράσταση με τον Άγιο Κοσμά φαίνεται να έχει αποδοθεί, αλλά έχουν χαθεί τα γράμματα. Τα εγχάρακτα Σεραφείμ δεν διακρίνονται ούτε στη μπροστά ούτε στην πίσω όψη.

Στην πίσω όψη ο σταυρός ξανά δεν αποδίδεται σωστά. Ενώ είναι πιο ευδιάκριτο, παραμένει το ανάγλυφο να μην είναι εμφανές και τα υαλώματα με τα μαργαριτάρια να έχουν χάσει τα χαρακτηριστικά τους. Παρατηρείται επίσης μια απορρόφηση των χρωμάτων από τις γύρω επιφάνειες. Το φως δεν αποδίδεται σωστά. Τα NeRF δεν αποδίδουν καλά τις λεπτομέρειες ακόμα και αν γίνει αναλυτική φωτογράφιση και βιντεοσκόπηση. Δεν μπορεί κανείς να βασιστεί στις λεπτομέρειες που αποδίδουν, ούτε να εξάγει ακριβές μετρήσεις. Οι πληροφορίες που εισάγονται στο πρόγραμμα φαίνεται να αλλοιώνονται και να χάνουν την ποιότητα τους.



Εικόνα 58: Λεπτομέρεια παράστασης Αγίου Κοσμά σταυρού 3



*Εικόνα 59: Λεπτομέρεια πίσω όψης σταυρού 3. Προβλήματα απεικόνισης ανάγλυφου και Σεραφείμ.*



*Εικόνα 60: Λεπτομέρεια πλαϊνής όψης σταυρού 3. Η σφραγίδα του καλλιτέχνη.*

### 3.2.4 Ομάδα Β:

Στους Νεότερους σταυρούς δοκιμάστηκαν τρεις μέθοδοι. Το Reality capture, το Agisoft Metashape και το Luma AI. Το Reality capture είχε καλύτερα αποτελέσματα από το Agisoft σε μικρά αντικείμενα. Το Luma AI ήταν το μόνο που δούλευε εύρυθμα. Συνεπώς στους παλαιότερους σταυρούς αποφασίστηκε η εφαρμογή μόνο των δύο προγραμμάτων που έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα.

### 3.2.5 Σταυρός 4

Ο σταυρός νούμερο 4 κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης περιμέναμε πως δε θα παρουσιάσει προβλήματα στην απεικόνιση της απόληξης, των χρωμάτων και της υφής.

Ο σταυρός είναι ξύλινος χωρίς βερνίκι και έχει ζωγραφικό στρώμα, κάτι που τον κάνει ιδιαίτερα εύκολο να ψηφιοποιηθεί. Οι διαστάσεις του είναι μικρές, αλλά το σχήμα του είναι απλό χωρίς ιδιαίτερα ανάγλυφα.

Δεν έχει δύσκολες λεπτομέρειες, ενώ το μόνο που μπορεί να παρουσιάσει πρόβλημα είναι ή χρωματική απεικόνιση και οι οπές από τα ξυλοφάγα έντομα. Παρατηρώντας το σταυρό

δημιουργήσαμε ένα πλάνο για την φωτογραμμετρία και ένα πλάνο για τα NeRF σχετικά με το σε ποια σημεία πρέπει να δοθεί έμφαση.

### **Φωτογραμμετρία:**

Στην περίπτωση της φωτογραμμετρίας επιλέξαμε να γίνει φωτογράφιση με μονόχρωμο φόντο και σταθερό φωτισμό, για να είναι καλύτερη η απόδοση του αντικειμένου.

Σε γενικές γραμμές ο σταυρός δεν εμφάνισε σημαντικά προβλήματα και ήταν επιτυχής στην αποτύπωσή του (Εικ. 61-62).



*Εικόνα 61: Αποτέλεσμα φωτογραμμετρίας σταυρός 4*



*Εικόνα 62: Αποτέλεσμα φωτογραμμετρίας σταυρός 4, πίσω όψη*

### NeRF:

Στο NeRF έγιναν δοκιμές με μονόχρωμο φόντο και χωρίς φόντο. Τα αποτελέσματα με το μονόχρωμο φόντο ήταν αρκετά καλά. Ο σταυρός 4 ήταν ο μόνος σταυρός που το Luma AI κατάφερε να βγάλει ένα αρκετά καλό μοντέλο με μονόχρωμο φόντο (Εικ. 63-65).



Εικόνα 63: Αποτέλεσμα NeRF σταυρός 4



Εικόνα 64: Αποτέλεσμα NeRF σταυρός 4, πίσω όψη



*Εικόνα 65: Αποτέλεσμα NeRF σταυρός 4, κάτοψη*

### 3.2.6 Σταυρός 5

Ο σταυρός νούμερο 5 κατά την διαδικασία μοντελοποίησης περιμέναμε να παρουσιάσει προβλήματα στην απεικόνιση της πίσω όψης, όπου υπάρχει η εγγάρια παράσταση της βάπτισης και οι απολήξεις. Τα προβλήματα αυτά ήταν αναμενόμενα, καθώς οι διαστάσεις των σταυρών είναι μικρές, αλλά και τα υλικά κατασκευής είναι ιδιαίτερα ανακλαστικά.

Ο σταυρός Νούμερο 5 είναι σχετικά μέτριας δυσκολίας.

Μερικές λεπτομερείς του σταυρού είναι δύσκολες στην απεικόνιση και πρέπει να τους δώσουμε ιδιαίτερη έμφαση, για να μην επηρεάσουν την απόδοση του αντικειμένου. Έγινε μια δοκιμαστική φωτογράφιση με λίγες φωτογραφίες (40-60), για να εντοπιστούν τα προβλήματα που πιθανόν να αντιμετωπίσουμε. Στην δοκιμή αυτή βάλαμε το αντικείμενο πάνω σε τραπέζι, χωρίς κάποιο φόντο στην βάση των σταυρών. Βάλαμε τις φωτογραφίες στο Reality Capture και περιμέναμε να δούμε τα αποτελέσματα. Το Reality Capture απέδωσε το αντικείμενο σε ένα απλό βαθμό με εμφανή προβλήματα στην πίσω όψη και στις απολήξεις.

Δημιουργήσαμε ένα πλάνο για την φωτογραμμετρία και ένα πλάνο για τα NeRF σχετικά με το σε ποια σημεία πρέπει να δοθεί έμφαση.

#### **Φωτογραμμετρία:**

Στην περίπτωση της φωτογραμμετρίας επιλέξαμε να γίνει φωτογράφιση με μονόχρωμο φόντο και σταθερό φωτισμό για να είναι καλύτερη η απόδοση του αντικειμένου.

Επαναλάβαμε τη φωτογράφιση από την αρχή, πιο αναλυτικά και με έμφαση στα προβληματικά σημεία. Το σημαντικότερο πρόβλημα κατά την φωτογράφιση ήταν ο φωτισμός. Οι



φωτιστικές πηγές ήταν τοποθετημένες σε κλίση 45 μοιρών που ενδείκνυται για φωτογράφιση μεταλλικών αντικειμένων. Το υλικό κατασκευής ανακλούσε το φως και δημιουργούσε φωτεινά σημεία κατά την φωτογράφιση. Όσο για τα σημεία που ήταν δίπλα στα φωτεινά, αυτά γινόντουσαν σκούρα.

Το μοντέλο αποδόθηκε σωστά. Τα χρώματα, οι φόρμες και η υφή ήταν ικανοποιητικά αν και κάποια προβλήματα στην απόδοση των απολήξεων υπήρχαν. Σε γενικές γραμμές τα προβλήματα ήταν μηδαμινά (Εικ. 66-69).



*Εικόνα 66: Αποτέλεσμα Φωτογραμμετρίας σταυρός 5, μπροστά όψη*



*Εικόνα 67: Αποτέλεσμα Φωτογραμμετρίας σταυρός 5, πίσω όψη*



*Εικόνα 68: Λεπτομέρεια απολήξεων σταυρός 5*



*Εικόνα 69: Λεπτομέρεια Φωτογραμμετρίας σταυρός 5, πίσω όψη, Βάπτιση*

### **NeRF:**

Στα NeRF περιμέναμε να έχουμε τα ίδια προβλήματα με την φωτογραμμετρία, δηλαδή προβλήματα στις απολήξεις και στην εγχάρακτη παράσταση στην πίσω όψη. Παρατηρήθηκαν προβλήματα στην απόδοση το λεπτομερειών στην πίσω όψη του σταυρού, ενώ οι απολήξεις δεν

παρουσίασαν ιδιαίτερο πρόβλημα. Ο σταυρός στην πίσω όψη έχει τη Βάπτιση, ενώ μπορεί να εντοπισθεί μια μικρή φιγούρα που μοιάζει με τη μορφή του Ιωάννη.

Η μπροστά παράσταση με το Χριστό αποδόθηκε καλά, δίχως προβλήματα. Δεν παρατηρείται απορρόφηση των χρωμάτων από τις γύρω επιφάνειες. Το φως αποδίδεται σωστά. Τα NeRF δεν αποδίδουν καλά τις λεπτομέρειες ακόμα και αν γίνει αναλυτική φωτογράφιση και βιντεοσκόπηση. Δεν μπορεί κανείς να βασιστεί στις λεπτομέρειες, ούτε να εξάγει ακριβείς μετρήσεις.



*Εικόνα 70: Αποτέλεσμα NeRF σταυρός 5*



*Εικόνα 71: Αποτέλεσμα NeRF σταυρός 5, πίσω όψη*



Εικόνα 72: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 5, πίσω όψη, απολήξεις



Εικόνα 73: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 5, πίσω όψη, Βάπτιση

### 3.2.7 Σταυρός 6

Ο σταυρός νούμερο 6 κατά την διαδικασία μοντελοποίησης περιμέναμε να παρουσιάσει προβλήματα στη συρματερή τεχνική, στους τρουλίσκους ή κωδωνοστάσια, στα άκρα των σταυρών και στα κοράλλια. Τα προβλήματα αυτά ήταν αναμενόμενα, καθώς οι διαστάσεις των σταυρών είναι μικρές αλλά και τα υλικά κατασκευής είναι ιδιαίτερα. Ο σταυρός Νούμερο 6 είναι ιδιαίτερα δύσκολος, η πολυπλοκότητα της κατασκευής του σε συνδυασμό με τις λεπτομέρειες ενέχουν κίνδυνο απώλειας της πληροφορίας.

Το Reality Capture απέδωσε το αντικείμενο σε ένα απλό βαθμό με εμφανή προβλήματα στους τρουλίσκους ή κωδωνοστάσια, στα άκρα των σταυρών και στα κοράλλια.

#### **Φωτογραμμετρία:**

Στην περίπτωση της φωτογραμμετρίας επιλέξαμε να γίνει φωτογράφιση με μονόχρωμο φόντο και σταθερό φωτισμό για να είναι καλύτερη η απόδοση του αντικειμένου.

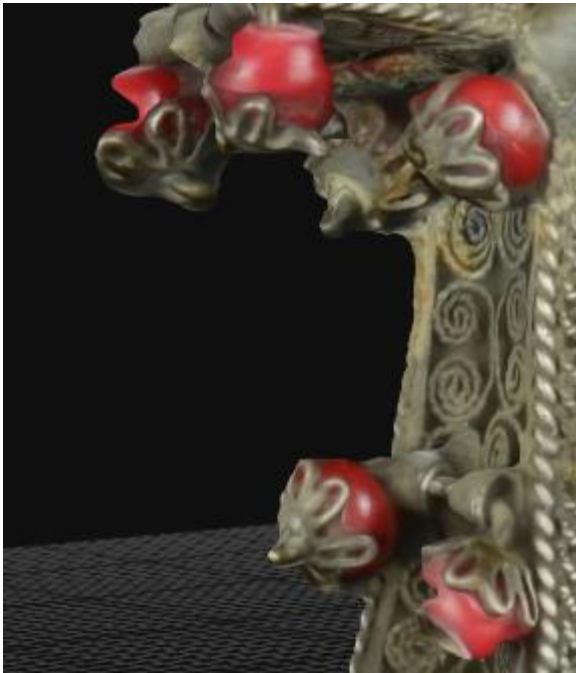
Το μοντέλο αποδόθηκε σωστά. Τα χρώματα, οι φόρμες και η υφή ήταν ικανοποιητικά, αν και κάποια προβλήματα στην απόδοση των τρουλίσκων στα άκρα των σταυρών και στα κοράλλια υπήρχαν (Εικ. 74-77). Σε γενικές γραμμές τα προβλήματα ήταν μηδαμινά.



*Εικόνα 74: Λεπτομέρεια φωτογραμμετρίας σταυρός 6*



*Εικόνα 75: Λεπτομέρεια φωτογραμμετρίας σταυρός 6, πίσω όψη*



*Εικόνα 76: Λεπτομέρεια κοραλλιών & συρματοτεχνικής*



*Εικόνα 77: Λεπτομέρεια τρουλίσκων*

### NeRF:

Με τα NeRF περιμέναμε να έχουμε τα ίδια προβλήματα με την φωτογραμμετρία, δηλαδή στην συρματερή τεχνική, στους τρουλίσκους ή κωδωνοστάσια, στα άκρα των σταυρών και στα κοράλλια.

Δεν παρατηρήθηκαν προβλήματα στη μοντελοποίηση. Δεν παρατηρείται απορρόφηση των χρωμάτων από τις γύρω επιφάνειες. Το φως αποδίδεται σωστά. Τα NeRF απόδωσαν καλά τις λεπτομέρειες, αλλά ακόμα δεν μπορεί κανείς να βασιστεί στις λεπτομέρειες ούτε να εξάγει ακριβείς μετρήσεις (Εικ. 78-81).



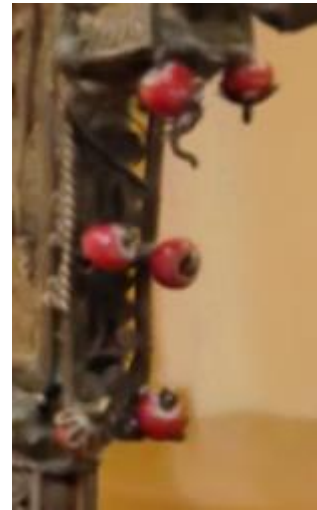
Εικόνα 78: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 6



Εικόνα 79: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 6, πίσω όψη



*Εικόνα 80: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 6, κάτοψη*



*Εικόνα 81: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 6  
κοράλλια*

### 3.3 Προβλήματα μοντελοποίησης και λύσεις που υιοθετήθηκαν

Τα προβλήματα στην παρούσα περίπτωση ήταν αναμενόμενα, από τους περιορισμούς της κάθε τεχνικής και των μέσων λήψης της πληροφορίας.

#### 3.3.1 Φωτογραμμετρία

Στόχος ήταν να μειωθούν τα προβλήματα και όσο είναι εφικτό να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα.

Τα προβλήματα της φωτογραμμετρίας στους σταυρούς ήταν παρόμοια, σε όλους που μελετήθηκαν. Προβλήματα παρουσιάστηκαν:

- Στην απεικόνιση των απολήξεων.
- Στα μικρά ανάγλυφα.
- Στα εγχάρακτα σχέδια.
- Στα όρια των σταυρών.
- Στο πάνω τμήμα των σταυρών.
- Στη βάση των σταυρών.
- Στη χρωματική απόδοση.
- Στα υαλώματα.
- Στο διάκοσμο.
- Στα μαργαριτάρια.
- Στην απόδοση των γυαλιστερών επιφανειών (χρυσό, μέταλλο, βάση).
- Στην απόδοση του βάθους στο διάκοσμο και των παραστάσεων.
- Στην απεικόνιση των σημείων που δεν είναι εφικτό να αποτυπωθούν από την κάμερα.

Το προβλήματα αυτά είναι αναμενόμενα σε τέτοιου είδους αντικείμενα, καθώς η πολυπλοκότητα, οι μικρές διαστάσεις και τα υλικά κατασκευής τα κάνουν ιδιαίτερα απαιτητικά.

Για να αντιμετωπίσουμε τις περισσότερες προκλήσεις κάναμε πολλές δοκιμές με διάφορους τρόπους, όπως με μονόχρωμα (λευκό, μαύρο, πράσινο) φόντα, με ουδέτερα χρώματα, με πληροφορίες στο background, με hatches, με σημεία αναφοράς, με καθόλου φωτισμό, με σταθερή πηγή φωτισμού, με φως του ήλιου (όχι άμεσα πάνω στο αντικείμενο), με τρίποδο, χωρίς τρίποδο, με φίλτρο polarized και χωρίς φίλτρο, με περιστρεφόμενη βάση, με διάχυτο φωτισμό τύπου λαμπών φθορισμού και με διαφορετικά προγράμματα. Σε όλες τις περιπτώσεις



παρατηρήθηκαν προβλήματα, σε κάποιες πολύ έντονα προβλήματα, σε κάποιες ελάχιστα και σε κάποιες δεν απέδωσε καθόλου. Οι δοκιμές αυτές έγιναν στους σταυρούς 1-3. Οι σταυροί είναι σε τέλεια κατάσταση και έχουν πληθώρα υλικού με ίδιες παραστάσεις (κάτι που είναι ιδιαίτερα σπάνιο), σε αντίθεση με τους σταυρούς 4-6 που είναι διαφορετικής τεχνοτροπίας, διαφορετικό υλικό κατασκευής και διαφορετικές παραστάσεις. Γνωρίζαμε πως οι τρεις σταυροί 4-6 θα έπρεπε να επιτύχουν με την πρώτη προσπάθεια, καθώς δε θα δινόταν χρόνος για επίσκεψη in-situ ξανά. Οι περισσότερες δοκιμές δεν είχαν καλά αποτελέσματα, αλλά μας βοήθησαν να καταλάβουμε τι μας δίνει η κάθε δοκιμή και πώς θα μπορούσαμε να το αποφύγουμε. Οι προτάσεις που έχουμε να δώσουμε είναι:

Στο **φόντο** παρατηρήθηκε πως το μαύρο είχε τα καλύτερα αποτελέσματα στους σταυρούς ευλογίας. Στη φωτογράφιση δεν επηρέασε το φόντο το αντικείμενο μας και δεν δημιουργούσε χρωματικές αλλοιώσεις στην επιφάνεια του αντικειμένου, ενώ τα υπόλοιπα χρώματα επηρέασαν το αντικείμενο.



*Εικόνα 82: Λεπτομέρεια βάσης σταυρού 1, μαύρο φόντο*



*Εικόνα 83: Λεπτομέρεια βάσης σταυρού 1, πορτοκαλί φόντο*

Στις Εικόνες 82-83 παρατηρείται πως ο ασημένιος σταυρός στην εικόνα με πορτοκαλί φόντο επηρεάζει χρωματικά όλο το αντικείμενο. Η στήλη του σταυρού και μέρος της παράστασης τείνει να μιμείται το χρυσό, το διαμαντάκι (υάλωμα) έχει χάσει τη λάμψη του, και στην βάση τα όρια του σταυρού παρατηρούνται να συγχέονται και δεν είναι ευδιάκριτα.

Στην περίπτωση του μαύρου φόντου αυτά τα προβλήματα δεν παρατηρούνται. Τα όρια είναι ευδιάκριτα, το διαμαντάκι έχει το φως του και είναι ξεκάθαρο το ασημί χρώμα του αντικειμένου. Τα χρώματα του φόντου λευκό και πράσινο είχαν τα ίδια αποτελέσματα με το πορτοκαλί. Έγινε προσπάθεια με σημεία αναφοράς, αλλά δεν είχαν διαφορά στα αποτελέσματα.

Αφού καταλήξαμε πως η καλύτερη λύση για την φωτογραμμετρία ήταν η φωτογράφιση σε μαύρο φόντο, τοποθετήσαμε μια περιστρεφόμενη βάση με μαύρο ύφασμα. Η βάση επιλέχθηκε γιατί πλέον δεν θα περιστρεφόμαστε εμείς γύρω από το αντικείμενο, αλλά θα περιστρέφεται το αντικείμενο.

**Φως:** Ο φωτισμός στους σταυρούς 1 έως 3 ήταν ιδιαίτερα δύσκολος. Οι έντονες ανακλάσεις που προέκυπταν αλλά και τα διαφορετικά υλικά, δημιουργούσαν προβλήματα κατά την φωτογράφιση, συνεπώς και στα 3D μοντέλα μας. Η φωτογράφιση με φυσικό φως σε εξωτερικό και σε εσωτερικό χώρο αποδείχθηκε η χειρότερη επιλογή για τα αντικείμενα, καθώς οι συνεχές αλλαγές του φωτός δημιουργούσαν υπερέκθεση και υποέκθεση. Ο χρόνος της φωτογράφισης εξαρτάται από τον καιρό την ημέρα της φωτογράφισης.



Εικόνα 84: Σταυρός 2 με φυσικό φωτισμό



Εικόνα 85: Σταυρός 2, πίσω όψη με φυσικό φωτισμό

Οι φωτογραφίες στις Εικόνες 84 & 85 ανήκουν στην προσπάθεια ψηφιοποίησης του σταυρού 2 με εξωτερικό φωτισμό και απέχουν χρονικά μεταξύ τους 4 λεπτά, όπου συγκρίνοντας τις είναι εμφανή τα προβλήματα.

Ο φωτισμός του αντικειμένου με σταθερό φωτισμό από softbox κάνει το φως διάχυτο και μειώνει δραστικά τις αντανακλάσεις. Τα αποτελέσματα δεν είναι τέλεια. Οι φωτιστικές πηγές τοποθετήθηκαν σε κλίση 45 μοιρών αριστερά και δεξιά του αντικειμένου, για να μειωθούν στο ελάχιστο οι αντανακλάσεις και συγχρόνως να είναι εμφανές το ανάγλυφο του σταυρού (Εικ. 86-87).



*Εικόνα 86: Σταυρός 2, φωτισμός softbox*



*Εικόνα 87: Σταυρός 2, φωτισμός softbox σε κλίση 45 μοιρών*

Ο σταθερός φωτισμός παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα μόνο όταν ο σταυρός είναι παράλληλα με την φωτιστική πηγή, δηλαδή σε δύο φωτογραφίες ανά βρόγχο. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να μειώσουμε αρκετά το πρόβλημα του φωτισμού και των “καμένων” φωτογραφιών.

### **Τρίποδο:**

Η χρήση τρίποδου είναι αναγκαία για να μην είναι κουνημένες και θολές οι φωτογραφίες. Οι χρόνοι ανά φωτογραφία είναι μεγάλοι ( 1/125 με 1/250). Αν προσπαθήσουμε να τραβήξουμε τις φωτογραφίες με ελεύθερο χέρι, οι περισσότερες θα είναι μη αποδεκτές.

### **Προγράμματα ψηφιοποίησης:**

Τις φωτογραφίες που τραβήχτηκαν τις εισάγαμε στα προγράμματα Reality Capture και Agisoft Metashape. Στόχος ήταν να βρούμε πιο πρόγραμμα αποδίδει τους σταυρούς καλύτερα. Το κάθε πρόγραμμα είχε καλύτερη απόδοση σε διαφορετική μέθοδο. Οι σταυροί, όταν φωτογραφήθηκαν με την κάμερα να περιστρέφεται γύρω τους είχαν και παρόμοια αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση. Όταν δοκιμάσαμε με μαύρο φόντο, με σταθερό φωτισμό και το αντικείμενο να περιστρέφεται σε βάση αλλά με σταθερή την κάμερα, τότε εμφανίστηκαν τα προβλήματα.

Το Agisoft Metashape παρουσίασε πρόβλημα κατά την ευθυγράμμιση των εικόνων και δεν μπορούσε να αντιστοιχίσει τις φωτογραφίες σε βρόγχους. Το πρόγραμμα αναγνωρίζει πως η κάμερα δεν είχε κουνηθεί αλλά μόνο το αντικείμενο. Το Reality Capture δεν παρουσίασε προβλήματα κατά την ευθυγράμμιση των εικόνων και μπορούσε να αποδώσει τους σταυρούς.

### **3.3.2 NeRF**

Τα NeRF αποδείχθηκαν ιδιαίτερα απρόβλεπτα, με πολλά προβλήματα κατά την μοντελοποίηση.

Στόχος ήταν να μειωθούν τα προβλήματα και όσο είναι εφικτό να έχουμε καλύτερα και σταθερά αποτελέσματα.

Τα προβλήματα στους σταυρούς με την τεχνική των NeRF ήταν παρόμοια σε όλους που μελετήθηκαν. Τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν ήταν:

- Τα ανάγλυφα.
- Τα εγχάρακτα σχέδια.
- Η πιστότητα του 3D με το πραγματικό μοντέλο.
- Η χρωματική απόδοση.
- Οι αντανakλάσεις από το φυσικό φωτισμό.
- Η απόδοση των γυαλιστερών επιφανειών (χρυσό, μέταλλο, βάση).

Το προβλήματα αυτά ήταν εν μέρει αναμενόμενα με την τεχνική NeRF, καθώς σε τέτοιου είδους αντικείμενα η πολυπλοκότητα, οι μικρές διαστάσεις και τα υλικά κατασκευής τα κάνουν ιδιαίτερα απαιτητικά.

Για να αντιμετωπίσουμε τις περισσότερες προκλήσεις κάναμε δοκιμές με τις φωτογραφίες από την φωτογραμμετρία με μονόχρωμο μαύρο φόντο, σε ανοιχτό εσωτερικό χώρο με φυσικό φωτισμό, σε εξωτερικό χώρο με φυσικό φωτισμό, σε εσωτερικό κλειστό χώρο με φυσικό φωτισμό, με σταθερή πηγή φωτισμού σε εσωτερικό χώρο, με τρίποδο, χωρίς τρίποδο, με διάχυτο φωτισμό τύπου λαμπών φθορισμού. Σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρήθηκαν προβλήματα: σε κάποιες πολύ έντονα προβλήματα, σε κάποιες ελάχιστα και σε κάποια δεν απέδωσε καθόλου. Οι δοκιμές αυτές έγιναν στους σταυρούς 1-3. Οι σταυροί είναι σε τέλεια κατάσταση και έχουν πληθώρα υλικών με ίδιες παραστάσεις, κάτι που είναι ιδιαίτερα σπάνιο.

#### **Με τις φωτογραφίες της φωτογραμμετρίας:**

Ανεβάσαμε στο Luma τις φωτογραφίες με μαύρο φόντο από τους σταυρούς 1-3. Τα αποτελέσματα ήταν ελλιπή. Τα στοιχεία από τη μία όψη μπορούσαν να αποδοθούν σε έναν ικανοποιητικό βαθμό ανάλογα με τη γωνία θέασης (Εικ.88-90).



*Εικόνα 88: Σταυρός 1, NeRF, πίσω όψη*

Η άλλη όψη όμως κάθε φορά δεν εμφανίζεται, ενώ το περίγραμμα διατηρούνταν αλλά η πληροφορία δεν εμφανιζόταν. Οπότε αποκλείσαμε το μονόχρωμο φόντο.



*Εικόνα 89: Σταυρός 1, NeRF, μπροστά όψη*



*Εικόνα 90: Σταυρός 3, NeRF, πίσω όψη*



*Εικόνα 91: Σταυρός 1, NeRF με φωτογραφίες*

Οι φωτογραφίες (αριθμός φωτογραφιών 600) χωρίς φόντο δεν αποδείχθηκαν καλές για να παραχθεί ένα άρτιο μοντέλο με NeRF (Εικ. 91). Γι' αυτό αποφασίστηκε να τραβήξουμε βίντεο τους σταυρούς και να αφήσουμε το πρόγραμμα να επιλέξει τις φωτογραφίες που χρειάζεται.

#### **Σε εσωτερικό χώρο και εξωτερικό χώρο με φυσικό φωτισμό:**

Οι δοκιμές που έγιναν σε εσωτερικό χώρο έχουν καλύτερα αποτελέσματα από τις φωτογραφίες και μπορούσαμε να εξάγουμε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο. Το πρόβλημα παραμένει πως θα φωτιστεί κατάλληλα χωρίς να το χτυπάει άμεσα το φως αλλά συγχρόνως να έχει καλό φωτισμό.

Οι λύσεις που προτείνουμε είναι δύο: Η πρώτη λύση είναι σε εξωτερικό χώρο που να μην έχει απευθείας φως πάνω στο αντικείμενο, με σκέπαστρο, αλλά να ανακλά το φως από τον περιβάλλοντα χώρο. Η δεύτερη λύση είναι σε εσωτερικό χώρο χωρίς καθόλου φυσικό φως, με πολύ καλό φωτισμό και προβολείς που να φωτίζουν το αντικείμενο από ψηλά. Το φως αυτό θα πρέπει να είναι διάχυτο.

#### **Τρίποδο:**

Το τρίποδο δεν ενδείκνυται σε μια τέτοια περίπτωση, καθώς τραβάμε βίντεο για την καταγραφή του αντικειμένου. Το τρίποδο θα μας εμποδίζει. Η λήψη βίντεο με υψηλής ανάλυσης κάμερα βοηθάει το πρόγραμμα να κρατήσει περισσότερες λήψεις του αντικειμένου. Η βιντεοκάμερα θα πρέπει να έχει σταθερές ρυθμίσεις, με σταθερό το ζουμ, για να μπορέσουμε να εξάγουμε ένα καλό μοντέλο. Προτείνεται να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί, σταθεροί και αργοί κατά την βιντεοσκόπηση.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των τεχνικών

Στην παρούσα πτυχιακή όπως έχουμε ήδη αναφερθεί, ο στόχος είναι να καταγράψουμε τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την διαδικασία της ψηφιοποίησης των σταυρών ευλογίας ή αγιασμού, να βρεθεί ένα πλάνο προσέγγισης της διαδικασίας και μία αξιόπιστη μέθοδος με σταθερά αποτελέσματα. Τα προβλήματα στα αντικείμενα ήταν πολλά και για επιτευχθεί ένα αποδεκτό μοντέλο χρειάστηκαν πολλές προσπάθειες. Ξεκινώντας την πτυχιακή γνωρίζαμε ότι τα αντικείμενα χρειάζονται ιδιαίτερη αντιμετώπιση και πολλαπλές δοκιμές πριν γίνει η τελική προσπάθεια απεικόνισης των παλαιότερων σταυρών.

Οι δοκιμές που έγιναν στους σταυρούς 1, 2 και 3 ήταν χρήσιμες και αναγκαίες. Η ιδιαιτερότητα των σταυρών αυτών, είναι το γεγονός ότι έχουν τις ίδιες παραστάσεις, αλλά με διαφορετικά υλικά κατασκευής και δύσκολες λεπτομέρειες. Αυτή η ιδιαιτερότητα ήταν σημαντική για την κατανόηση και τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πλάνου. Η δυνατότητα να γίνουν δοκιμές χωρίς περιορισμούς μας έδωσε την ευκαιρία να κατανοήσουμε τα προβλήματα σε βάθος, να δούμε ποιες τεχνικές δουλεύουν σε τέτοιου είδους αντικείμενα, και να μας προετοιμάσουν όσο το δυνατόν καλύτερα απέναντι σε οποιαδήποτε δυσκολία μπορεί να προκύψει κατά την in-situ επίσκεψη στο Ιστορικό μουσείο Κρήτης (IMK).

Οι μέθοδοι που επιλέξαμε για να κάνουμε τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα των σταυρών είναι η φωτογραμμετρία και τα NeRF. Οι δυνατότητες και των δύο τεχνικών είναι περιορισμένες, όμως έχουν δείξει αρκετές φορές πολύ καλά αποτελέσματα.

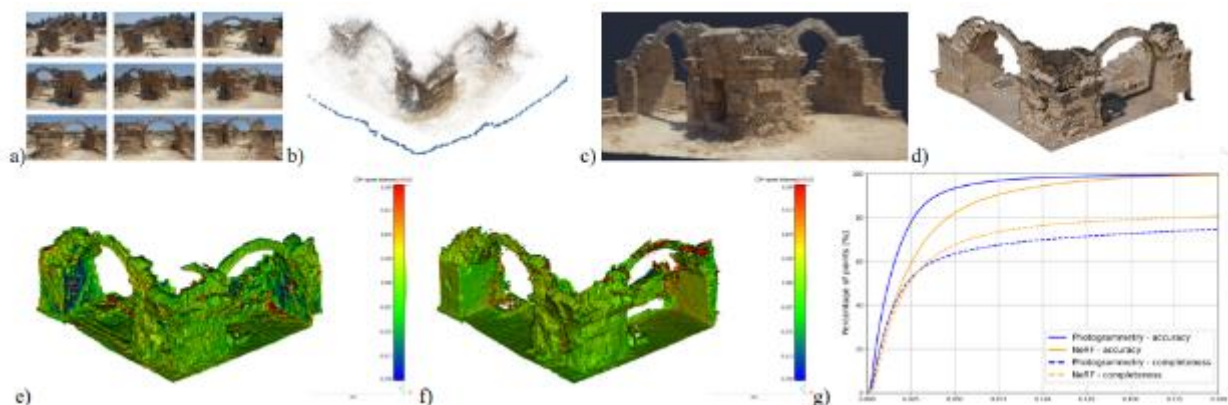
Στην περίπτωση της φωτογραμμετρίας, που είναι η πιο διαδεδομένη τεχνική, τα αποτελέσματα δεν βελτιώνονται δραστικά, αλλά έχουμε μια σχετική αύξηση της ποιότητας των χρωμάτων, των λεπτομερειών και των αναλογιών. Γνωρίζουμε πως μια συνδυαστική τεχνική μεταξύ 3D scanning και φωτογραμμετρίας αποφέρει τα ως τώρα καλύτερα αποτελέσματα για τη μοντελοποίηση. Το 3D scanning δεν είναι ιδιαίτερα προσβάσιμο για όλους, όμως έχει αρκετά καλά αποτελέσματα για το mesh model. Το μειονέκτημα του είναι η χρωματική απόδοση του αντικειμένου. Εκεί συμπληρώνει η φωτογραμμετρία, όπου τα αποτελέσματα που παράγει στο mesh model δεν είναι συνήθως καλά, αλλά καταφέρνει καταπληκτικά αποτελέσματα, σχεδόν ρεαλιστικά στην απεικόνιση του μοντέλου. Ο περιορισμός της φωτογραμμετρίας είναι πως, αν κατά την περίοδο της φωτογράφισης τα δεδομένα αλλάξουν (όπως ο φωτισμός, οι ρυθμίσεις κάμερας, η θέση του αντικειμένου), τότε το πρόγραμμα δεν μπορεί να αποδώσει το αντικείμενο.



Τα γυαλιστερά σημεία των αντικειμένων, λόγω της περιστροφής του, δεν αποδίδονται σωστά, καθώς το πρόγραμμα δεν αναγνωρίζει το βάθος, αλλά ούτε μπορεί να αντιστοιχίσει όλες τις φωτογραφίες. Αυτά τα προβλήματα είναι γνωστά στην φωτογραμμετρία και ο στόχος είναι να μειωθούν και να έχουμε άριστα αποτελέσματα, με την χρήση μόνο μιας τεχνικής.

Το NeRF είναι μια μέθοδος που ακόμα δεν έχει δοκιμαστεί αρκετά στην πολιτιστική κληρονομιά και τα έργα τέχνης ευρέως. Έχουν γίνει όμως κάποιες προσπάθειες, που αφορούν κυρίως μεγάλων διαστάσεων έργα.

Οι Mazzacca το 2023 δημοσίευσαν ένα άρθρο με τίτλο “NeRF for heritage 3D reconstruction”, όπου πραγματοποίησαν συγκριτικές δοκιμές στα NeRF και τεχνικές MVS πάνω σε αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς. Τα αποτελέσματα που παρουσίασαν ήταν ελπιδοφόρα. Τα μοντέλα που παράχθηκαν ήταν αρκετά ακριβή ενώ είχαν σχετικά καλή απεικόνιση. Στο άρθρο αυτό συμπέραναν πως τα NeRF είχαν καλύτερα αποτελέσματα σε περιπτώσεις όπου κλασικές τεχνικές τύπου MVS (multi-view Stereo) αποτυγχάνουν. Είναι αναγκαίες όμως περισσότερες δοκιμές, καθώς αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο, καθώς τα NeRF έχουν ταχύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τα MVS.

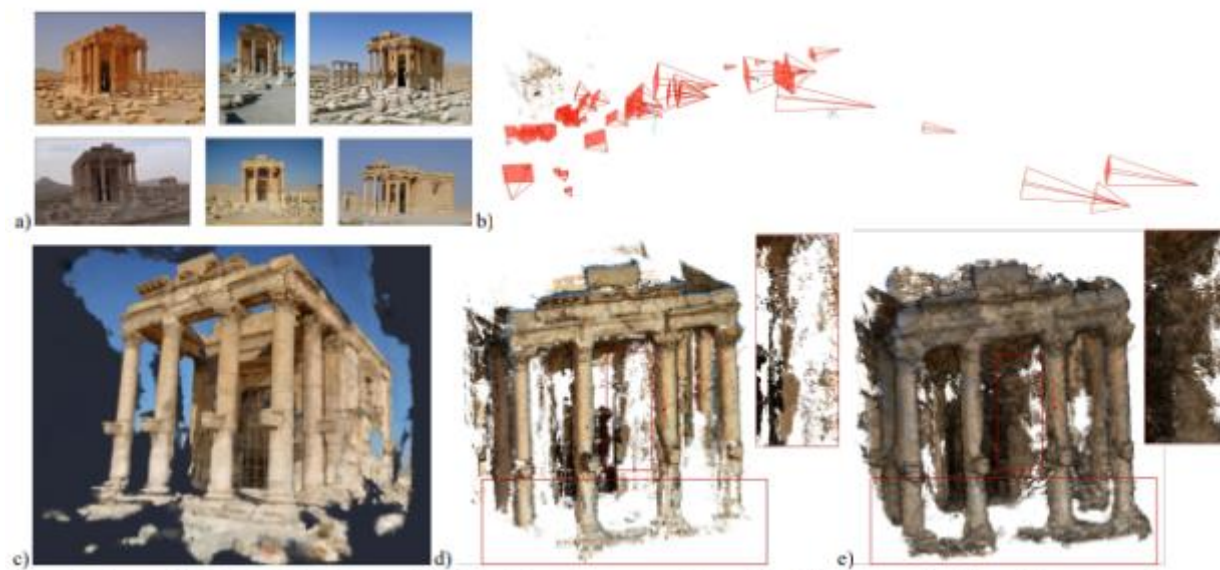


Εικόνα 92: The smartphone-based Mausoleum (Doss Trento) dataset: some of the used images (a), derived camera network (b), Instant-NGP NeRF 3D result (c) and TLS ground truth data (d). Geometric comparison of the photogrammetric (e) and NeRF (f) 3D results with respect to the TLS GT data (scalar field unit in meters).

Το άρθρο αναφέρει πως είναι μια αρχική έρευνα πάνω στον τομέα εφαρμογής των NeRF και χρήζει περαιτέρω ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, θα διερευνηθεί αν η ποιότητα και η ποσότητα των φωτογραφιών επηρεάζουν την ακρίβεια και την πληρότητα των NeRF. Θα πρέπει να βρεθεί μια αξιόπιστη προσέγγιση για την αφαίρεση του φόντου, που δεν είναι μέρος του αντικείμενου, το οποίο ανακατασκευάζουν ψηφιακά.

Παράλληλα θέλουν να διερευνηθεί η πιθανότητα να ανακατασκευάζονται τα αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς με ακρίβεια, χρησιμοποιώντας δεδομένα από τους τουρίστες που

επισκέπτονται διάφορα μνημεία και πιο συγκεκριμένα από μνημεία που έχουν χαθεί, καταστραφεί ή βανδαλιστεί.



Εικόνα 93: Μερικές από τις εικόνες REKREI που χρησιμοποιήθηκαν για την (a)τρισιδιάστατη ανακατασκευή του ναού της Παλμύρας και του (b)ανακτημένου δικτύου καμερών (c) NeRF-W 3D προβολή (d)οπτική σύγκριση των φωτογραμμετρικών αποτελεσμάτων (b) και NeRF (c) 3D.

Ένα ακόμα σημαντικό άρθρο, που δημοσιεύτηκε από τους Croce τον Φεβρουάριο του 2024, με τίτλο “Neural Radiance Fields (NERF) for multi-scale 3D modeling of cultural heritage artifacts “ πραγματοποίησε μια μελέτη περίπτωσης με αρκετά διαφορετικά δείγματα.

n.	1	2	3	4	5
Case study					
Acquisition Scheme					
Scale	1 : 5	1 : 10 / 1 : 20		1 : 50 / 1 : 100	
Objectives	Accurate description of the details and texture of the individual elements that make up the pavements. Detection of any irregularities in the "Volterra bench" stone and monitoring of its state of preservation.	Accurate description of the details and colorimetric characteristics of the object as whole. Legibility of the raised decorative apparatus and description of degraded areas.		Global description of the geometries, colorimetric features and texture of the objects. Recognizability of component elements, represented with a moderate level of detail.	

Εικόνα 94: Συνοπτικός πίνακας των διαφορετικών περιπτώσεων που εξετάστηκαν, με σχετική κλίμακα αναπαράστασης

Τα δείγματα που επιλέχθηκαν ήταν από διαφορετικά υλικά κατασκευής, με διαφορετική πολυπλοκότητα. Οι περιπτώσεις δύο και τρία είχαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς μελετούσαν παράλληλα ανάγλυφες επιφάνειες και γυαλιστερές επιφάνειες. Στην περίπτωση δύο, οι

περίπλοκες λεπτομέρειες των ανάγλυφων και το κύπελλο στο πάνω μέρος παρουσίασαν προκλήσεις στην επεξεργασία των δεδομένων, που πηγάζουν από την ομοιογένεια του υλικού, καθώς επηρέασαν τα αποτελέσματα υπό βέλτιστες συνθήκες φωτισμού. Στην περίπτωση δύο τα NeRF απέδωσαν καλύτερα το αντικείμενο σε σύγκριση με το φωτογραμμτρικό μοντέλο, ειδικά στις περιπτώσεις που το φως δεν ήταν επαρκές.



Εικόνα 95: Σόμπα: (α) φωτογραμμτρικό νέφος σημείου, (β) πλέγμα, (γ) Απόδοση NeRF, (δ) σύννεφο σημείων που βασίζεται σε NeRF, (ε) σύγκριση σύννεφο με σύννεφο.

Στην περίπτωση τρία η ανακλαστικότητα του καθρέφτη, το χρύσωμα του πλαισίου και οι κακές συνθήκες φωτισμού επιδείνωσαν την κατάσταση. Οι προκλήσεις αυτές δυσκόλεψαν την επεξεργασία των δεδομένων. Παρά τις εν γένει δυσκολίες που παρουσιάστηκαν, τα μοντέλα NeRF γεωμετρικά ήταν πιο ολοκληρωμένα σε σχέση με τα φωτογραμμτρικά.



Εικόνα 96: Καθρέφτης: (α) φωτογραμμτρικό πλέγμα, (β) ογκομετρική απόδοση που δημιουργείται από το NeRF (γ) συγκριτική υπέρθεση των δύο διαφορετικών αποτελεσμάτων

Παραμένουν όμως αρκετά αισθητά κενά που αντιστοιχούν στην ανάκλαση του φωτός στον καθρέφτη. Στην περίπτωση της υφής, το NeRF δεν κατάφερε να την αποδώσει επαρκώς. Η έρευνα υπογραμμίζει μια αντιστάθμιση μεταξύ της ποιότητας υφής, της γεωμετρικής ακρίβειας,

της πλήρωσης κενού, του θορύβου εξόδου και του μεγέθους του αντικειμένου, που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη σύγκριση των μοντέλων NeRF με τη φωτογραμμετρία. Τονίζει πως τα NeRF διαπρέπουν στις περιπτώσεις που η πληροφορία δεν είναι επαρκής. Τέλος, εστιάζουν στο πως θα ερευνηθεί στο μέλλον μια κατάλληλη κλίμακα καταγραφής των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Έχοντας υπόψη τα δεδομένα αυτά, θέλαμε να δοκιμάσουμε διάφορες περιπτώσεις με στόχο να βρεθεί ένα κατάλληλο πλάνο προσέγγισης, και προτείνουμε κάποιες λύσεις στα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την διαδικασία της ψηφιοποίησης σταυρών ευλογίας ή αγιασμού με τις τεχνικές της φωτογραμμετρίας και NeRF.

## 4.2 Συγκριτική παράθεση αποτελεσμάτων



Στους παρακάτω Πίνακες 1-6, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα συγκριτικά αποτελέσματα των διαφορετικών απεικονίσεων για κάθε αντικείμενο. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να καταλάβουμε πόσο καλή είναι η απόδοση της κάθε μεθόδου, τόσο σε σύγκριση με το πρωτότυπο, όσο και μεταξύ τους.

Στο Παράρτημα 1 δίνεται συγκεντρωτικός πίνακας με την απεικόνιση κάθε διαφορετικού υλικού ανά σταυρό και ανά μέθοδο, με κλίμακα επιτυχίας στην απόδοση του αντικειμένου από 1 (καθόλου) έως 7 (άριστα). Στις ακόλουθες σελίδες παρουσιάζονται περιληπτικά τα ευρήματα της εργασίας. Για βέλτιστη κατανόηση των ευρημάτων, οι εικόνες, το Παράρτημα 1 και η παρουσίαση των ευρημάτων που ακολουθούν πρέπει να μελετηθούν ως αλληλοσυμπληρούμενα.






Πίνακας 1. Συγκριτικά αποτελέσματα – Σταυρός 1

ΣΤΑΥΡΟΣ 1		
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	NeRF
		
		







Πίνακας 2. Συγκριτικά αποτελέσματα – Σταυρός 2

ΣΤΑΥΡΟΣ 2		
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	NeRF
		
		

Πίνακας 3. Συγκριτικά αποτελέσματα – Σταυρός 3

ΣΤΑΥΡΟΣ 3		
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	NeRF
		
		

Πίνακας 4. Συγκριτικά αποτελέσματα – Σταυρός 4




ΣΤΑΥΡΟΣ 4		
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	NeRF
		
		

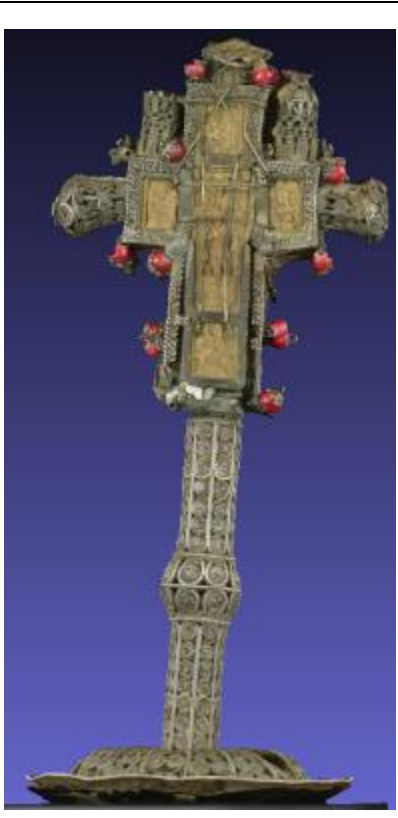
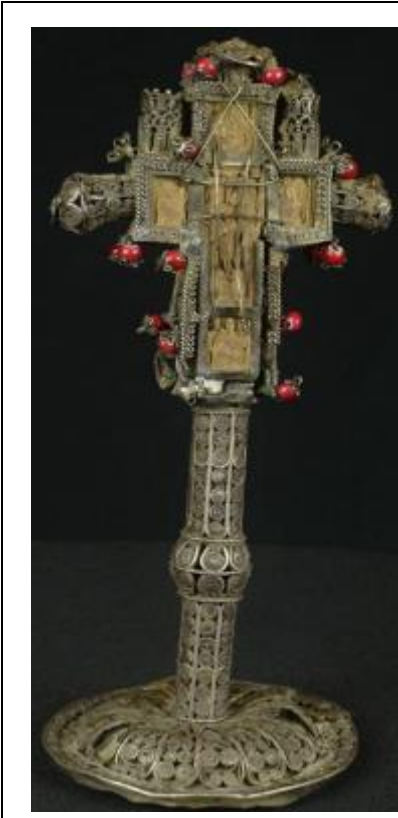


Πίνακας 5. Συγκριτικά αποτελέσματα – Σταυρός 5

ΣΤΑΥΡΟΣ 5		
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	NeRF
		
		

Πίνακας 6. Συγκριτικά αποτελέσματα – Σταυρός 6

ΣΤΑΥΡΟΣ 6		
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	NeRF
		

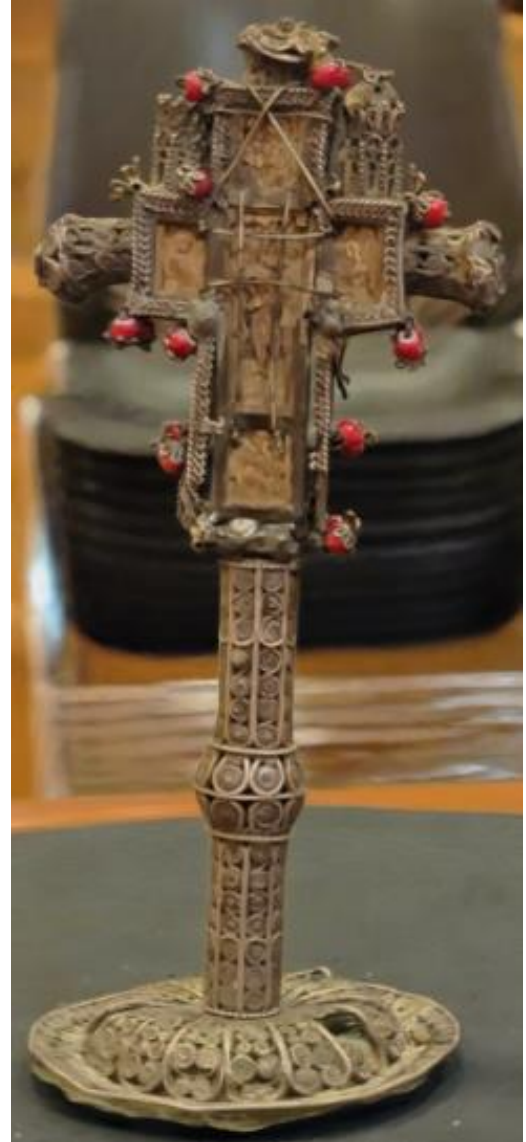


Παρατηρήθηκε πως τα μοντέλα είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, όμως τα μοντέλα NeRF απεικονίζονται διαφορετικά στην προβολή πριν την περικοπή της σκηνής και μετά την περικοπή.

Στην περίπτωση του σταυρού 6, πριν την αφαίρεση του φόντου, ο σταυρός απεικονίζεται αρκετά καλά με τα NeRF (Εικ. 97-98).



*Εικόνα 97: Σταυρός 6 μπροστά όψη*



*Εικόνα 98: Σταυρός 6 πίσω όψη*

Εντούτοις, ο σταυρός μετά τον καθαρισμό του φόντου φαίνεται ελλιπής, με πολλά προβλήματα, ενώ χάθηκαν οι περισσότερες λεπτομέρειες (Εικ. 99-100).



*Εικόνα 99: Σταυρός 6 μπροστά όψη  
με καθαρισμένο φόντο*



*Εικόνα 100: Σταυρός 6 πίσω όψη  
με καθαρισμένο φόντο*

Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα αποτελέσματα της φωτογραμμετρίας ήταν καλύτερα από τα NeRF. Όμως στην περίπτωση του σταυρού 4 τα αποτελέσματα ήταν σχεδόν ίδια. Ίσως το NeRF να απεικονίζει και καλύτερα από τη φωτογραμμετρία τον σταυρό.

Έγιναν επίσης δοκιμές και με φόντο και χωρίς φόντο, με σταθερή φωτογραφική κάμερα και βιντεοκάμερα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως οι σταυροί 4 και 6, τα μοντέλα έγιναν και έχουν καλά αποτελέσματα. Ενώ οι σταυροί 1, 2, 3 και 5 δεν ολοκληρώθηκαν. Στην περίπτωση 1, 2 και 3 οι σταυροί απεικονίστηκαν από τη μία όψη και ανάλογα με τη γωνία θέασης μπορούσε κανείς να παρατηρήσει και τις δύο πλευρές του σταυρού. Χρειάζεται να γίνει περαιτέρω ανάλυση

με στόχο την δημιουργία NeRF μικρών αντικειμένων με την χρήση σταθερού φωτισμού, ενιαίου φόντου και βιντεοσκόπηση ή φωτογράφιση.

Έχοντας ολοκληρώσει τα NeRF και τα φωτογραμμομετρικά μοντέλα δημιουργήσαμε ένα πίνακα (Παράρτημα 1) που βαθμολογεί την απόδοση των τεχνικών στο κάθε υλικό ανά αντικείμενο με την κλίμακα Likert. Τα κριτήρια βαθμολόγησης είναι επτά σημείων, με ένα ✓ δηλώνουμε πως "Δεν απεικονίστηκε" ενώ με επτά ✓✓✓✓✓✓✓ δηλώνουμε ότι επιτεύχθηκε "Καλή Απεικόνιση", για να μπορούμε να βαθμολογήσουμε την απόδοση των τεχνικών. Ο πίνακας χωρίζεται σε 2 ομάδες, Φωτογραμμετρία και NeRF, και σε τρεις βασικές κατηγορίες, Υλικά, τεχνικές & Προβλήματα. Αυτές οι τρεις βασικές κατηγορίες εστιάζουν στις περιπτώσεις που αφορούν την παρούσα πτυχιακή εργασία, δηλαδή στην απόδοση των υλικών στα σύνθετα αντικείμενα, στην απεικόνιση των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν στο εκάστοτε αντικείμενο και τα προβλήματα που υπάρχουν στο καθένα από αυτά.

Στην ομάδα Φωτογραμμετρία οι βαθμολογίες των σταυρών για την κατηγορία "Υλικά" ήταν πολύ καλή με εξαίρεση τα μαργαριτάρια του σταυρού 3 που είχαν αχνή απεικόνιση .

Στην κατηγορία "Τεχνικές" ο σταυρός 1 είχε αχνή απεικόνιση σε μη ενιαίο φόντο. Ο σταυρός 2 δεν είχε ευδιάκριτη απεικόνιση στις διακοσμητικές απολήξεις, στο φόντο με σημεία αναφοράς και στη λεία επιφάνεια είχε αχνή απεικόνιση, και στο μη ενιαίο φόντο δεν απεικονίστηκε. Ο σταυρός 3 δεν είχε ευδιάκριτη απεικόνιση στο μη ενιαίο φόντο. Οι σταυροί 4, 5 & 6 είχαν καλή απεικόνιση.

Στην κατηγορία "Προβλήματα" όλοι οι σταυροί είχαν πολύ καλή απεικόνιση με μία εξαίρεση τη βάση του σταυρού 3 που δεν είχε ευδιάκριτη απεικόνιση. Σε γενικό βαθμό οι σταυροί με την τεχνική της φωτογραμμετρίας είχαν καλή απεικόνιση με μερικά προβλήματα ανά κατηγορία.

Στην Ομάδα NeRF τα πράγματα είναι διαφορετικά. Ο σταυρός 1 στην κατηγορία "Υλικά" δεν είχε ευδιάκριτη απεικόνιση στις κόκκινες υαλόμαζες και στην κατηγορία "Τεχνικές" ο σταυρός στο ενιαίο φόντο και με τα σημεία αναφοράς δεν απεικονίστηκε.

Ο σταυρός 2 στην κατηγορία "Υλικά" δεν είχε ευδιάκριτη απεικόνιση στο χρυσό και είχε αχνή απεικόνιση στις κόκκινες υαλόμαζες. Στην κατηγορία "Τεχνικές" δεν είχε ευδιάκριτη απεικόνιση στο χυτό, στην εσώγλυφη γραμματοσειρά, στις αντανακλάσεις και στην λεία απεικόνιση, ενώ οι ρόδακες είχαν αχνή απεικόνιση. Ο σταυρός δεν απεικονίστηκε σε ενιαίο φόντο και σε φόντο με σημεία αναφοράς. Στην κατηγορία "Προβλήματα" ο σταυρός δεν είχε ευδιάκριτη

απεικόνιση στη ματ επιφάνεια, στα μικροανάγλυφα, στη βάση, στην απεικόνιση διαστάσεων, στην απόδοση βάθους και στον προβληματικό φωτισμό.

Ο σταυρός 3 εμφάνισε προβλήματα μόνο στην κατηγορία “Τεχνικές”, με αχνή απεικόνιση στην εσώγλυφη γραμματοσειρά και στο φόντο με σημεία αναφοράς, ενώ δεν απεικονίστηκε στο ενιαίο φόντο.

Ο σταυρός 4 είχε καλή απεικόνιση σε όλες τις κατηγορίες, και κανένα εμφανές πρόβλημα στην απεικόνιση.

Ο σταυρός 5 εμφάνισε δύο μόνο προβλήματα. Στην κατηγορία “Τεχνικές” είχε αχνή απεικόνιση στην εγχάρακτη παράσταση, και στην κατηγορία “Προβλήματα” δεν είχε ευδιάκριτη απεικόνιση σε προβληματικό φωτισμό.

Ο σταυρός 6 στην κατηγορία “Υλικά” είχε αχνή απεικόνιση στο ξύλο. Στην κατηγορία “Τεχνικές”, είχε αχνή απεικόνιση στην ανάγλυφη παράσταση και στους ρόδακες, ενώ δεν απεικονίστηκε η σκαλισμένη παράσταση. Στην κατηγορία “Προβλήματα” δεν είχε ευδιάκριτη απεικόνιση στο βάθος και στο διάκοσμο. Αχνή απεικόνιση είχε στην οξείδωση, στην διάβρωση του ξύλου, στις παλαιότερες επεμβάσεις και στη ματ επιφάνεια, ενώ τα μικροανάγλυφα δεν απεικονίστηκαν.

Τα αποτελέσματα των NeRF σε γενικό βαθμό είναι ευδιάκριτα με αρκετά προβλήματα, με εξαίρεση το σταυρό 4, όπου ήταν καλή η απεικόνιση.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ψηφιακή τρισδιάστατη σάρωση αρχαιολογικών μνημείων και έργων τέχνης είναι μια μέθοδος αποτύπωσης και γεωμετρικής τεκμηρίωσης που συνδυάζει την τοπογραφική αποτύπωση με την πιστότητα της φωτογραμμετρικής απόδοσης. Η τεχνική χρησιμοποιείται σε διάφορους τύπους εφαρμογών για τη δημιουργία τρισδιάστατων φωτορεαλιστικών μοντέλων και την τεκμηρίωση της κατάστασης διατήρησης αρχαιολογικών αντικειμένων και μνημείων. Αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο που βρίσκει εφαρμογές στη συντήρηση, αποκατάσταση και προστασία των μνημείων πολιτισμού. Έχοντας στα χέρια τους τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα, οι αρχαιολόγοι, αρχιτέκτονες, μουσειολόγοι και άλλοι επαγγελματίες του πολιτισμού, μπορούν πλέον τεκμηριωμένα να μελετήσουν το αντικείμενο ακόμα και αν βρίσκονται χιλιόμετρα μακριά, χάρη στην τεχνολογία.

Η τρισδιάστατη αποτύπωση κινητών και ακίνητων μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς κερδίζει συνεχώς έδαφος. Σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης που χρησιμοποιούν σήμερα οι

τοπογράφοι βρίσκουν εφαρμογή στην προστασία και στην αποκατάσταση των μνημείων. Η συνεχής ανάπτυξη και εξέλιξη καινοτόμων μεθόδων τεκμηρίωσης, ανάλυσης και ανάδειξης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, με σύγχρονες τεχνικές τρισδιάστατης αποτύπωσης και μαθηματικής μοντελοποίησης αρχαιολογικών δεδομένων, θα δώσει νέα ώθηση στην ανακατασκευή αρχαιολογικών μνημείων και έργων τέχνης. Παρατηρείται μια συνεχής αύξηση τα τελευταία χρόνια των έργων που έχουν ως αντικείμενο την τρισδιάστατη αποτύπωση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Στον τομέα της αποκατάστασης, είναι σύνηθες να δημιουργούνται διαφορετικές προτάσεις της πιθανής αρχικής κατάστασης, οι οποίες αναθεωρούνται μετά από χρόνια με βάση νεότερες πληροφορίες. Τα τρισδιάστατα μοντέλα βρίσκουν ένα μεγάλο πεδίο εφαρμογών κυρίως στην έρευνα και την εκπαίδευση, ενώ λειτουργούν βοηθητικά στη μελέτη μνημείων σε μακροχρόνια διατήρηση, στο gaming και την τουριστική προβολή. Πολλά τρισδιάστατα έργα μνημείων εντάσσονται σταδιακά στην ευρωπαϊκή ψηφιακή βιβλιοθήκη Europeana.

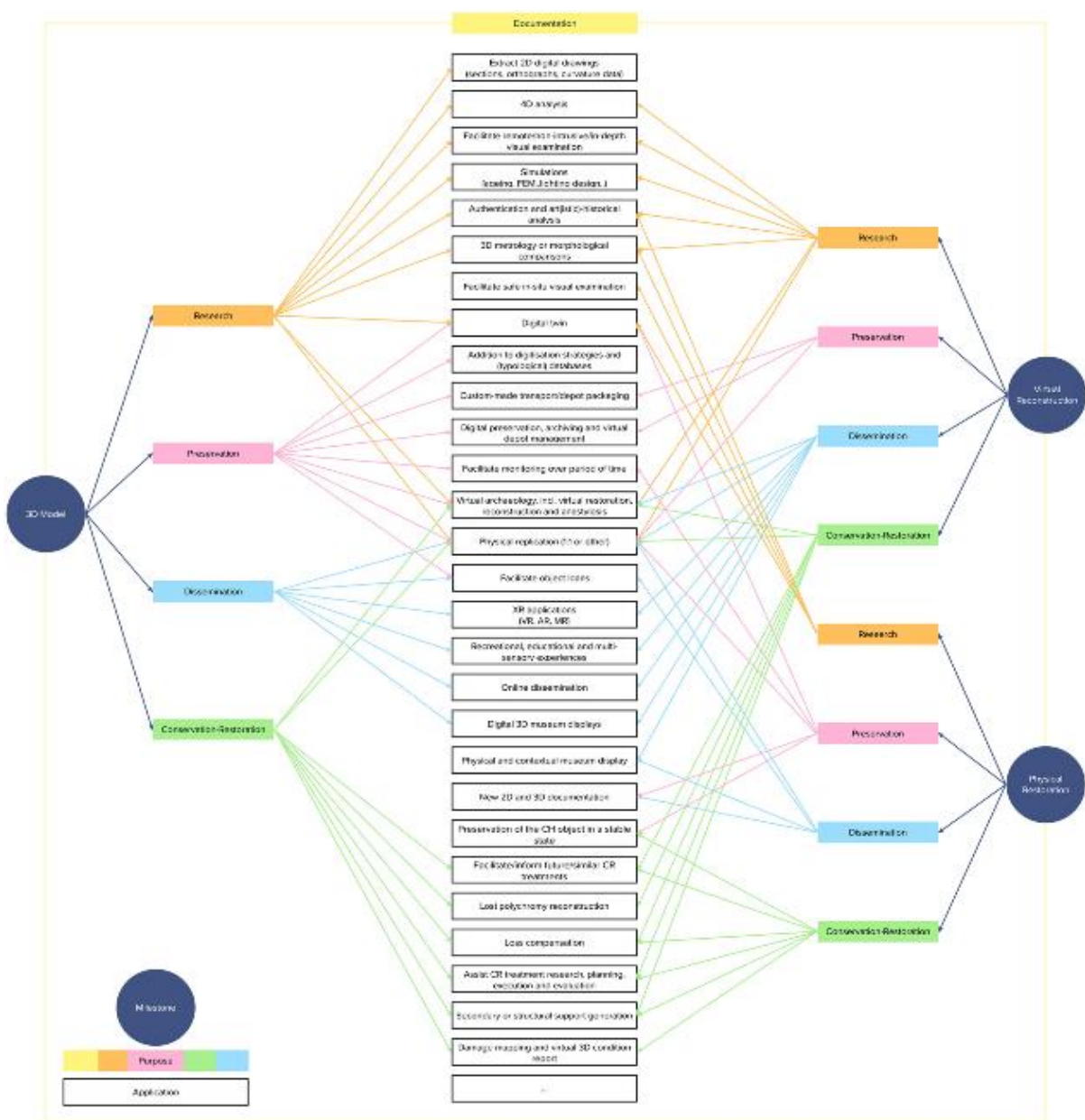
Στο παρελθόν οι συντηρητές προχωρούσαν σε επεμβατικές μεθόδους αποκατάστασης, οι οποίες πολλές φορές είναι δύσκολο να αφαιρεθούν ή μετά από το πέρας πολλών ετών αποτελούν πλέον αναπόσπαστο ιστορικό τμήμα του έργου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όταν υπάρχουν νέα στοιχεία και ανάγκη αναθεώρησης, είναι πιο πρακτικό να γίνει μια νέα αποκατάσταση η οποία να είναι τρισδιάστατη ψηφιακή, παρά να υποστεί το έργο ανεπανόρθωτες φθορές από τις επεμβάσεις. Τα βήματα όμως που θα πρέπει να ακολουθήσουν οι συντηρητές στην τρισδιάστατη αποκατάσταση είναι μπερδεμένα, καθώς οι περισσότεροι δεν είναι εξοικειωμένοι με αυτήν την τεχνολογία, και ο καθένας ψάχνει να βρει το δρόμο που θα οδηγήσει σε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

Μια ενδιαφέρουσα μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Βέλγιο από τους Acke, Corradi, & Verlinden ανέπτυξε ένα σύστημα που ονόμασε: “Comprehensive educational framework on the application of 3D technologies for the restoration of cultural heritage objects”. Το άρθρο εξετάζει κάποια κενά που υπάρχουν στην διαδικασία ψηφιοποίησης, περιγράφοντας λεπτομερώς τη δημιουργία και την επικύρωση ενός εκπαιδευτικού πλαισίου για τις περιπτώσεις απώλειας σε αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς (CH-cultural Heritage). Βασιζόμενοι σε μια εκτενή ανασκόπηση προηγούμενων περιπτώσεων και μελετών, συντάσσεται μια «Επισκόπηση των δυνατοτήτων εφαρμογής τρισδιάστατων τεχνολογιών για την αποκατάσταση αντικειμένων CH». Εξετάζει τις αιτίες, τις διαδικασίες, τις μεθόδους και υλικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη σε μια εικονική αποκατάσταση ως ροή εργασιών (Εικ. 101). Η “Επισκόπηση” αποτελείται από οκτώ φάσεις, διακρίνοντας 22 βήματα, που περιλαμβάνει τόσο παραδοσιακά βήματα αποκατάστασης,



εικονικά βήματα όσο και συνδυασμένα βήματα, στα οποία εμφανίζονται δυνατότητες υλικού, αντικειμένου, συσκευής και προϊόντος (Acke *et al* 2024).

Αυτή η προσπάθεια αποτελεί ένα καλό οδηγό αλλά δεν είναι πανάκεια για κάθε έργο. Η τρισδιάστατη αποτύπωση σε έργα τέχνης μικρών διαστάσεων με πολύπλοκο ανάγλυφο διάκοσμο είναι δύσκολη. Δεν εντοπίστηκε στο διαδίκτυο ικανοποιητικός αριθμός τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων με μικρογραφικά και δύσκολα έργα τέχνης, πιθανώς λόγω της πολυπλοκότητας και των αρνητικών αποτελεσμάτων τα οποία λειτουργούν αποτρεπτικά. Η τεχνολογία των 3D δεν έχει φτάσει ακόμα σε τέτοιο επίπεδο ώστε να λειτουργεί απόλυτα ικανοποιητικά στον τομέα της λεπτομερούς αποτύπωσης της πολιτιστική μας κληρονομιάς.



Εικόνα 101: Σχεδιάγραμμα με πιθανούς συσχετισμούς μεταξύ των 3d μοντέλων για τεκμηρίωση, έρευνα συντήρησης-αποκατάστασης και διάχυσης πληροφορίας όσον αφορά στις εφαρμογές που μπορεί αυτά να

Τα NeRF έχουν κάνει τεράστια πρόοδο όσον αφορά στην ταχύτητα, στην ποιότητα και στην αντιμετώπιση των αδυναμιών του αρχικού μοντέλου. Τα μοντέλα NeRF έχουν βρει εφαρμογές σε τομείς όπως η χαρτογράφηση, η φωτογραμμετρία, η επεξεργασία εικόνας και η τρισδιάστατη ανακατασκευή. Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα μοντέλα NeRF, με αυξανόμενο αριθμό ερευνών και δημοσιεύσεων.

Το άρθρο που παρουσιάστηκε από τους Croce *et al.* (2023), σε συνέδριο στην Ιταλία, αξιολογεί τις δυνατότητες των NeRF στη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων για αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς. Μελετά τη διαφορετικότητα των υλικών και διαφορετικών τρόπων προσέγγισης για την εύρεση ενός κατάλληλου πλάνου προσέγγισης, ώστε τα NeRF να είναι αποτελεσματικά.

Οι προσεγγίσεις των Neural Radiance Field (NeRF) φέρνουν μια νέα οπτική στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να αποδοθεί μια σκηνή σε 3D από ένα σύνολο προσανατολισμένων εικόνων. Εξετάζοντας μερικές από τις εφαρμογές των NeRF σε διάφορα έργα πολιτιστικής κληρονομιάς που συλλέγονται με βίντεο smartphone ή απλές φωτογραφικές κάμερες αποδείχθηκε ότι οι μέθοδοι Instant-NGP και Nerfacto πέτυχαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Πραγματοποιώντας διαδοχικές ποιοτικές και ποσοτικές αναλύσεις σε διαφορετικά έργα, αποκαλύπτονται σταδιακά οι καλές επιδόσεις των μεθόδων NeRF, ιδιαίτερα για περιοχές με ομοιόμορφη υφή ή λαμπερές επιφάνειες, καθώς και για μικρά σύνολα δεδομένων χαμένων τεχνουργημάτων. Αυτό σίγουρα ανοίγει νέα σύνορα για τις εφαρμογές της τρισδιάστατης τεκμηρίωσης και οπτικοποίησης της ψηφιακής μας κληρονομιάς.

Κατά την διάρκεια εφαρμογής των NeRF στους σταυρούς για την Πτυχιακή αυτή εργασία, καταλήξαμε σε διάφορα συμπεράσματα. Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα ήταν θετικά, αν και θεωρείται απαραίτητη η περαιτέρω έρευνα πάνω σε πιο πολύπλοκα και μικρών διαστάσεων αντικείμενα. Θα προτείναμε την εφαρμογή των NeRF σε διαφορετικά υλικά κατασκευής και σε ιδιαίτερα περιβάλλοντα, ώστε να έχουμε μια καλύτερη καταγραφή των δυνατοτήτων τους. Εάν επιλυθούν τα όποια προβλήματα προκύψουν ανά υλικό σε πολύπλοκα αντικείμενα και καταφέρουν να αποδοθούν σωστά (να είναι ίδια δηλαδή με το αυθεντικό), τότε και τα 3D μοντέλα των πιο απλών αντικειμένων θα είναι πιο ακριβή και ολοκληρωμένα.

Στην περίπτωση των ανάγλυφων σε λευκό ματ υλικό, δεν κατάφεραν να μας δώσουν τόσο καλά αποτελέσματα. Ο σταυρός 3 αποδόθηκε σε μέτριο βαθμό. Πιθανόν να ευθύνεται και η μικρή κλίμακα των σταυρών. Ελέγχοντας το συγκριτικό πίνακα σχετικά με την πιστότητα των 3D

μοντέλων, θα λέγαμε ότι τα αποτελέσματα είναι μικτά. Σε κάποιες περιπτώσεις οι σταυροί 1 έως 3 μπορούσαν να αποδοθούν καλά ανάλογα με τη γωνία θέασης. Ο σταυρός 4, που ήταν απλός γεωμετρικά, στην 3D ψηφιακή απεικόνισή του είχε καλά αποτελέσματα, σχεδόν ίδια με την φωτογραμμομετρία.

Στην πτυχιακή έγιναν δοκιμές στα ίδια έργα με φωτογραμμετρία και με NeRF, προκειμένου να συγκρίνουμε τις δύο μεθόδους. Τα NeRF όμως δεν έχουν καλό αποτέλεσμα για την λεπτομερή καταγραφή που απαιτεί ο τομέας της Συντήρησης στην παρούσα φάση. Ακόμα δεν έχουν δημιουργηθεί ολοκληρωμένες εφαρμογές για τη συντήρηση για μικρά αντικείμενα, καθώς δεν προσφέρουν αναλυτικό αποτέλεσμα και δε δίνουν ευδιάκριτες λεπτομέρειες, απαραίτητες για την καταγραφή του έργου. Οι προτεινόμενες λύσεις είχαν καλύτερα αποτελέσματα στα αντικείμενα μας. Τα περισσότερα μοντέλα δεν παρουσίασαν πλέον έντονα προβλήματα και είχαν απεικονιστεί σε έναν ικανοποιητικό βαθμό. Τα φωτογραμμετρικά μοντέλα είναι σχεδόν ίδια με τον πρωτότυπο σταυρό, ενώ τα NeRF είναι αρκετά κοντά, με εξαίρεση τον σταυρό 2 που δεν απεικονίζει το χρυσό σωστά.

Συμπεραίνουμε πως η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση σε αντικείμενα μικρών διαστάσεων είναι εφικτή, αλλά χρειάζεται να δώσουμε πολλή έμφαση στο φόντο και στο φωτισμό. Οι λεπτομέρειες των αντικειμένων μπορούν να αποτυπωθούν και από τις δύο μεθόδους, όμως η φωτογραμμετρία παρέχει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα NeRF. Οι δυνατότητα των NeRF να παράγουν μοντέλο από βίντεο είναι πιο ελκυστική σε περίπτωση που ο χρόνος είναι λίγος, όπως π.χ. σε ανασκαφές, πριν την μετακίνηση των αρχαίων και πριν αλλάξει η μορφή της ανασκαφής. Σε περιπτώσεις όπου τα αντικείμενα είναι πιο μεγάλα και δύσκολο να αποτυπωθούν, τα NeRF μπορούν να αποδώσουν καλύτερα το φόντο και το χώρο. Ειδικότερα στα ανασκαφικά έργα, μέχρι και ο χώρος που βρίσκονται τα αντικείμενα έχει σημασία να αποδοθεί σωστά, καθώς αλλάζει κάθε μέρα. Η ταχύτητα απόδοσης και η ευκολία τους είναι αρκετά σημαντικά χαρακτηριστικά, απαραίτητα στο αρχαιολογικό πεδίο. Στις περιπτώσεις των σταυρών όμως τα NeRF δεν ενδείκνυνται. Οι σταυροί είναι φορητοί και μικροί, μπορούν να μετακινηθούν και να στερεωθούν σε ένα φωτογραφικό στούντιο, όπου τα αποτελέσματα είναι καλύτερα. Τα NeRF δε θα πρέπει όμως να απορριφθούν ακόμα. Αντίθετα, είναι σημαντικό να ερευνηθεί καλύτερα ποιος είναι ο πιο ιδανικός τρόπος προκειμένου να αποδοθούν πιο πιστά μικρών διαστάσεων και πολύπλοκα έργα τέχνης. Ακόμα και σε αυτό το πρώιμο στάδιο που βρίσκονται, πετυχαίνουν ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα, και μόνο ο χρόνος θα δείξει τις δυνατότητες που θα μπορέσουν να προσφέρουν στον τομέα του πολιτισμού.

## 5.1 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στο πλαίσιο της περαιτέρω διερεύνησης των δυνατοτήτων τρισδιάστατης ψηφιοποίησης των σταυρών ευλογίας και αγιασμού, προτείνεται να διερευνηθεί η μοντελοποίηση των NeRF με τη χρήση μονόχρωμου φόντου. Να γίνει προσπάθεια 3D ψηφιοποίησης με τη χρήση του NerfStudio και του Instant-NGP της NVIDIA, ώστε τα μοντέλα να έχουν υψηλή ποιότητα και καλύτερη απόδοση, που μπορεί να επιτευχθεί από τα NeRF. Η μελέτη των δυνατοτήτων της φωτογραμμετρίας, συνδυαστικά με την τεχνολογία των NeRF, στο πεδίο της ψηφιοποίησης, της τεκμηρίωσης και της διατήρησης των σταυρών ευλογίας και αγιασμού, προσφέρει νέες προοπτικές στις δυνατότητες της τρισδιάστατης αναπαράστασης με πιο απλές μεθόδους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Αγγλική Βιβλιογραφία:

Abbink, J., (2015) *The cross in Ethiopian Christianity Ecclesial symbolism and religious experience*, The Routledge Companion to Christianity in Africa, edited by Elias Kifon Bongmba.

Πρόσβαση στις 23/03/2024 Διαθέσιμο στο:

[https://www.academia.edu/32499030/The\\_cross\\_in\\_Ethiopian\\_Christianity\\_Ecclesial\\_symbolism\\_and\\_religious\\_experience](https://www.academia.edu/32499030/The_cross_in_Ethiopian_Christianity_Ecclesial_symbolism_and_religious_experience)

Acke, L., Corradi, D., Verlinden, J., (2024), Comprehensive educational framework on the application of 3D technologies for the restoration of cultural heritage objects, *Journal of Cultural Heritage*, Volume 66, 2024, Pages 613-627, ISSN 1296-2074, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.01.013>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S129620742400013X>

Arnold W. E., McCroskey J. C., Prichard S. V. O. (1967). The Likert-type scale. *Today's Speech*, 15/2: 31-33.

Ballian A. (2008), *Cries and Whispers in Karamanlidika Books*. Proceedings of the first International Conference on Karamanlidika Studies, Nicosia, 11-13 September 2008. Διαθέσιμο στο: <<https://archive.apan.gr/>>

Ballian A. (2018), *The Spread of the Art of the Capital, 17th-early 18th centuries*. Διαθέσιμο στο: <<https://gracecharitablefoundation.org/monastery-of-vatopedi/art/the-spread-of-the-art-of-the-capital-17th-early-18th-centuries/>>

Banks, J. et al, (1999), An accurate and reliable stereo matching algorithm incorporating the rank constraint. *Symposium on Intelligent robotic systems*, pages 23--32.

Black, J., and Green, A. (1992). *Gods, Demons and Symbols of Ancient Mesopotamia: An Illustrated Dictionary*. The British Museum Press.

Bokova, I. (2015). *Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places: Guiding Principles*. Getty Conservation Institute.

Britannica, (2023), *Encyclopaedia Britannica*, πρόσβαση την 2η Αυγούστου 2023 στο <<https://www.britannica.com/>>

Brown, I., (2016), The world's biggest small mystery, Διαθέσιμο στο: <https://www.theglobeandmail.com/arts/art-and-architecture/ago-exhibit-raises-profound-questions-about-ancient-handmadeobjects/article32682945/>

Bruni, Y.; Hatert, F.; Demaude, M.; Delmelle, N.; George, P.; Maquet, J. An Archaeometric Investigation of Gems and Glass Beads Decorating the Double-Arm Reliquary Cross from Liège, Belgium. *Heritage* 2021, 4, 4542–4557. <https://doi.org/10.3390/heritage4040250> Πρόσβαση στις 28/02/2024

Croce, V., Forleo, G., Billi, D., Bevilacqua, M. G., Piemonte, A., Caroti, G., 2024. *Neural Radiance Fields (NeRF) for multi-scale 3d modeling of cultural heritage artifacts*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLVIII-2/W4-2024 10th Intl. Workshop 3D-ARCH “3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures”, 21–23 February 2024, Siena, Italy. Διαθέσιμο στο:

<<https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-2-W4-2024/165/2024/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-165-2024.pdf>>

Drandaki, A., et al, (2006). *Byzantine Museology: Digital Representation*. Mouseio Vyzantino.

Europeana, Europe's digital cultural heritage, European Union, Πρόσβαση στις 28/02/2024 στο: <<https://www.europeana.eu/en/>>

Jason Johns, (2019), *Ornamentations Around The Symbol Of The Cross : A Comparative Overview*-XPLORE RESEARCH JOURNAL, Vol. 10, Issue 1, Dec 2019 ISSN 2249 - 1878. Διαθέσιμο στο: [https://www.academia.edu/44170750/Ornamentations\\_Around\\_The\\_Symbol\\_Of\\_The\\_Cross\\_A\\_Comparative\\_Overview](https://www.academia.edu/44170750/Ornamentations_Around_The_Symbol_Of_The_Cross_A_Comparative_Overview)

Jensen, R. M. (2008). *The Cross: History, Art, and Controversy*. Harvard University Press.

Jones, L., & Mitchell, S. (Eds.). (2015). *The Oxford Handbook of Early Christian Art*. Oxford University Press.

Karagianni, Fl., (2015) *Metal Crosses of Early and Byzantine period from a Private Collection* (p.193-200). Διαθέσιμο στο: <https://independent.academia.edu/FloraKaragianni?swp=tc-au-22964950>

Hanlon, K. L., (2017). *Cross-polarised and parallel-polarised light: Viewing and photography for examination and documentation of biological materials in medicine and forensics*. Διαθέσιμο στο: <researchgate.net>

Jäger M., 2023. *Analysis report for the residue analysis AESUB blue*. Διαθέσιμο στο: <<https://www.aesub.co.uk/product/aesub-blue/>> (πρόσβαση 22/08/2023)

Kramer, S. N. (1961). *Sumerian Mythology: A Study of Spiritual and Literary Achievement in the Third Millennium BC*. University of Pennsylvania Press. Διαθέσιμο στο: <[https://www.google.gr/books/edition/Sumerian Mythology/7oLUDwAAQBAJ?hl=el&gbpv=1&dq=1.%09Kramer,+S.+N.+\(1961\).+Sumerian+Mythology:+A+Study+of+Spiritual+and+Literary+Achievement+in+the+Third+Millennium+BC.+University+of+Pennsylvania+Press.&printsec=frontcover](https://www.google.gr/books/edition/Sumerian+Mythology/7oLUDwAAQBAJ?hl=el&gbpv=1&dq=1.%09Kramer,+S.+N.+(1961).+Sumerian+Mythology:+A+Study+of+Spiritual+and+Literary+Achievement+in+the+Third+Millennium+BC.+University+of+Pennsylvania+Press.&printsec=frontcover)>

Lerma, J. L., & Cabrelles, M. (2010). Multispectral imaging applied to the analysis of archaeological documents. *The Photogrammetric Record*, 25(132), 339-354.

Linder W., (2009), *Digital Photogrammetry A Practical Course*

MacCulloch, D. (2010). *Christianity: The First Three Thousand Years*. Viking.

Mazzacca, G., Karami, A., Rigon, S., Farella, E.M., Trybala, P., Remondino, F., 2023. *NeRF for heritage 3D reconstruction*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLVIII-M-2-2023, 29th CIPA Symposium "Documenting, Understanding, Preserving Cultural Heritage: Humanities and Digital Technologies for Shaping the Future", 25–30 June 2023, Florence, Italy. Διαθέσιμο στο: <<https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-M-2-2023/1051/2023/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1051-2023.pdf>>

Mildenhall, B., Srinivasan, P., Tancik, M., Barron, J. T., Ramamoorth, R., Ng, R., (2020). *NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis*. Διαθέσιμο στο: <<https://arxiv.org/abs/2003.08934>>

Miller, J. M. (2004). *The Crucified God in the Carolingian Era: Theology and Art of Christ's Passion*. Cambridge University Press.

Moraru, R., Gui, O., & Chirilă, I. (2011). 3D Modelling of an Important Symbol of the Orthodox Wooden Churches – The Imperial Gates. *Electronic Workshops in Computing*. <https://doi.org/10.14236/EWIC/EVA2011.46>.  
[https://www.academia.edu/76825910/3D Modelling of an Important Symbol of the Orthod](https://www.academia.edu/76825910/3D_Modelling_of_an_Important_Symbol_of_the_Orthod)

## [ox Wooden Churches The Imperial Gates](#)

NVIDIA, Εταιρία τεχνολογίας, Πρόσβαση στις 28/05/2023 στο: <nvidia.com>

Prost, R. (2003). High-Definition 3D Imaging and Modelling: Techniques, technologies and applications. John Wiley & Sons.

Rakhsit, S., (2022), *Mip-NeRF 360: Unbounded Anti-Aliased Neural Radiance Fields*  
Διαθέσιμο στο: <<https://wandb.ai/>>

Remondino, Fabio, (2004). *From point cloud to surface: The modeling and visualization problem*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.

Stanco, F., Battiato, S., Gallo, G., (2017), Digital Imaging for Cultural Heritage Preservation: Analysis, Restoration, and Reconstruction of Ancient Artworks, CRC Press, Florida, USA

The Met, (2000), The Metropolitan Museum of Art, New York. Πρόσβαση στις 28/05/2023 στο: <<https://www.metmuseum.org/art/collection> >

Müller T., Evans A., Schied C. Keller A., (2022) Instant Neural Graphics Primitives with a Multiresolution Hash Encoding

Unger, A., Schniewind, A. P., Unger, W., (2001), *Conservation of Wood Artifacts*, Springer

Vassiliou, P., Gouda, V., (2013), *Ancient silver artifacts: corrosion processes and preservation strategies*, Woodhead Publishing Limited, Pages 213-235

### **Ελληνική Βιβλιογραφία:**

Έλληνες Πατέρες της Εκκλησίας (1973 εξ.), εκδόσεις Γρηγόριος Παλαμάς, Θεσσαλονίκη  
Καραγιάννη, Α., 2010. *Ο Σταυρός στη Βυζαντινή Μνημειακή ζωγραφική. Η λειτουργία και το δογματικό του περιεχόμενο*. Διαθέσιμο στο: <<http://ikee.lib.auth.gr/>>

Καλοπίση- Βέρτη, Σ. (Επιμελήτης) Παναγιωτίδη-Κεσίσογλου, Μ. (2010). ΠΟΛΥΓΛΩΣΣΟ ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΜΕΝΟ ΛΕΞΙΚΟ ΟΡΩΝ ΒΥΖΑΝΤΙΝΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΓΛΥΠΤΙΚΗΣ. ΗΡΑΚΛΕΙΟ: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ.



Καραποστόλου, Γ. (2013), ΓΙΩΡΓΟΣ, «ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ Ι». Σημειώσεις του διδάσκοντα,  
ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ Διαθέσιμο  
στο: [http://topogeo.ihu.gr/userfiles/files/teachers/karap/21\\_1\\_21\\_simeioseis\\_theor.pdf](http://topogeo.ihu.gr/userfiles/files/teachers/karap/21_1_21_simeioseis_theor.pdf)

Κουτσούδης Κ., (2010) , Ανάκτηση τρισδιάστατων δεδομένων βάσει περιεχομένου και  
MPEG- & μεταδεδομένων

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ Ε., (2019), ΤΑ ΜΕΣΟΒΥΖΑΝΤΙΝΑ ΚΟΣΜΗΜΑΤΑ (10ος-12ος ΑΙΩΝΑΣ) ΜΕΣΑ  
ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΝΑΣΚΑΦΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ: ΝΕΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΚΑΒΑΛΑΡΙ (ΣΤΑΝΟΒΟ) ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΘΕΟΛΟΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ  
ΘΕΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΜΕΑΣ ΕΚΚΛΗΣΙΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ, ΧΡΙΣΤΙΑΝΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑΣ, ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΗΣ, Διαθέσιμο στο: <http://ikee.lib.auth.gr/record/306878/files/GRI-2019-25459.pdf>

ΛΟΒΕΡΔΟΥ-ΤΣΙΓΑΡΙΔΑ Κ. (2011). Αργυρές επενδύσεις εικόνων από τη Θεσσαλονίκη του  
14ου αιώνα. Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 26, 263–272. Διαθέσιμο στο:  
<https://doi.org/10.12681/dchae.445file:///C:/Users/user/Downloads/4242-133-8816-1-10-20110706.pdf>

Μαστροθεόδωρος Γ., (2021). Ακαδημαϊκές σημειώσεις: Γενικές Αρχές και Θεωρία  
Συντήρησης, Αθήνα

Μαντάς, Α., Βυζαντινή Μικροτεχνία, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Πρόσβαση στις:  
12/07/2024. Διαθέσιμο στο:

<https://www.scribd.com/document/642570345/%CE%92%CF%85%CE%B6%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%AE-%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%AF%CE%B1-%CE%91-%CE%9C%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AC%CF%82-%CE%A0%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B9%CE%BF-%CE%99%CF%89%CE%B1%CE%BD%CE%BD%CE%AF%CE%BD%CF%89%CE%BD>

Μουρελάτος Δ., (2012), Διδακτικές σημειώσεις Βυζαντινή Αρχαιολογία και Τέχνη 330-1453  
μ.Χ., Αθήνα

Μπαλλιάν Α. IMMB (Ιερά Μέγιστη Μονή Βατοπεδίου). (1996). Ιερά Μέγιστη Μονή  
Βατοπεδίου. ΑΓΙΟΝ ΟΡΟΣ: Ι.Μ.Μ. Βατοπεδίου.

ΜΠΟΡΜΠΟΥΔΑΚΗΣ, Μ. (Επιμελητής) (1994). ΘΗΣΑΥΡΟΙ ΤΗΣ ΟΡΘΟΔΟΞΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ  
ΕΛΛΑΔΑ. ΜΠΑΣΤΑΣ ΠΛΕΣΣΑΣ.

Κόνσολα Ντ. , Η Διεθνής Προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, Εκδόσεις Παπαζήση, 1995.

Οικονομάκη-Παπαδοπούλου, Γ., (1980), *Εκκλησιαστικά Αργυρά*, Εκδόσεις Αποστολική Διακονία

π. Ιωσήφ ο Βατοπαιδινός (2023), *Η ιστορία των σταυρών ευλογίας ή αγιασμού*, Συνέντευξη από Μιχαήλ Γεώργιο Σησαμάκη, 27 Απριλίου

π. Σησαμάκη Μ. (2024), *Η λειτουργική χρήση των σταυρών ευλογίας ή αγιασμού*, Συνέντευξη από Μιχαήλ Γεώργιο Σησαμάκη, 5 Μαΐου

Παυλίδης, Γ., Σεβελίδης, Β., Χαραλαμπίδου, Μ., (2014). *Μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης αντικειμένων και χώρων*. 3D CMS – Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα Ανάπτυξης και διαχείρισης 3D Εφαρμογών Πολιτιστικού Περιεχομένου.υ

Ραβανή, Ν., 2018. *Τρισδιάστατη μοντελοποίηση γλυπτού με χρήση ψηφιακών εικόνων*. Διαθέσιμο στο: <<https://dSPACE.lib.ntua.gr/>>

Στάρα - Γαλερίδου, Αλ., 1989. *Αποτυπώσεις & αναστήλωση*, Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Σχολή Γραφικών & Καλλιτεχνικών Σπουδών, Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης.

Συκκά, Γ., 2007. *Η ακριβή τέχνη του σμάλτου στο χρόνο*. Διαθέσιμο στο: <<https://www.kathimerini.gr/culture/305349/i-akrivi-techni-toy-smaltoy-sto-chronoy/>>

ΥΠ & ΜΒΠ (ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΜΟΥΣΕΙΟ ΒΥΖΑΝΤΙΝΟΥ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ). (1997). ΘΗΣΑΥΡΟΙ ΤΟΥ ΑΓΙΟΥ ΟΡΟΥΣ. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ: ΙΕΡΑ ΚΟΙΝΟΤΗΣ ΑΓΙΟΥ ΟΡΟΥΣ ΑΘΩ.

Χονδρογιάννης, Σ. (Επιμελητής) (2012). ΕΡΓΑ ΤΕΧΝΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΛΟΥΒΡΟ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ Η ΛΕΙΨΑΝΟΘΗΚΗ ΤΟΥ "ΑΛΗΘΟΥΣ ΣΤΑΥΡΟΥ". Θεσσαλονίκη: Μουσείο Βυζαντινού Πολιτισμού.

#### **Διαδύκτιακές πηγές:**

#### **Αγγλική Βιβλιογραφία:**

The Metropolitan Museum of Art, (α), (2024), <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/546309>

The Metropolitan Museum of Art, (β), (2024), <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/478063>

The Metropolitan Museum of Art, (γ), (2024), <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/464428>

## Ελληνική Βιβλιογραφία:

Βυζαντινή Αθηνά, (2024),

<http://www.byzantineathens.com/alpharhochiitotatauepsilonkappatauomicronnuiotakappaomicroniota-rhousilonthetamuomicroniota-nualphaomeganu.html>, . Πρόσβαση στις 12/06/2024

Εικόνα 21:

[http://www.sineimage.com/en/ImageTest/Test\\_Charts/ISO\\_Test\\_Charts/37.html](http://www.sineimage.com/en/ImageTest/Test_Charts/ISO_Test_Charts/37.html), Πρόσβαση στις 12/06/2024

Εικόνα 22: Nikon D7000, <https://commons.wikimedia.org>, Πρόσβαση στις 13/06/2024

Εικόνα 23: Τρίγωνο έκθεσης που αφορά στο διάφραγμα, στην ταχύτητα κλείστρου και στο ISO.

<https://physics4u.gr/blog/2019/04/21/%CF%84%CE%BF-%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%B3%CF%89%CE%BD%CE%BF-%CE%AD%CE%BA%CE%B8%CE%B5%CF%83%CE%B7%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CF%8C%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%84%CF%81%CF%8C%CF%80/>, Πρόσβαση στις 13/06/2024

Εικόνα 24: Συμβουλές φωτογραφίας για αρχάριους, <https://imgur.com/gallery/effects-ofaperture-shutter-speed-iso-on-images-bO3FEef>, Πρόσβαση στις 13/06/2024

Εικόνα 25: Φακός AF-S DX Nikkor 35mm f/1.8G <https://www.nikon.gr>, Πρόσβαση στις 13/06/2024

Εικόνα 26: Οπτική γωνία(FOV= Field of View) σε σχέση με εστιακό μήκος, <https://www.photo.gr>, Πρόσβαση στις 13/06/2024

Εικόνα 32: Διαφορετικά είδη σημείων αναφοράς, <https://www.surveyaan.com>, Πρόσβαση στις 13/06/2024

Εικόνα 101: Σχεδιάγραμμα με πιθανούς συσχετισμούς μεταξύ των 3d μοντέλων για τεκμηρίωση, έρευνα συντήρησης-αποκατάστασης και διάχυσης πληροφορίας όσον αφορά στις εφαρμογές που μπορεί αυτά να έχουν για ακαδημαϊκό, εκπαιδευτικό, ή εμπορικά σκοπό, [www.sciencedirect.com/](http://www.sciencedirect.com/), Πρόσβαση στις 14/06/2024

Μουσείο Μπενάκη, (α), (2024), ([www.benaki.org](http://www.benaki.org)),

Μουσείο Παύλου και Αλεξάνδρας Κανελλοπούλου, (α), (2024), (<https://camu.gr/>),

Μουσείο Παύλου και Αλεξάνδρας Κανελλοπούλου, (β), (2024), <https://camu.gr/item/ksyloglyptos-amfiglyfos-stavros-agiasmou/>

Φιλανθρωπικό Ίδρυμα Grace,(α), (2024), (<https://gracecharitablefoundation.org/>).

Φιλανθρωπικό Ίδρυμα Grace,(β), (2024),  
<https://gracecharitablefoundation.org/monastery-of-vatopedi/art/the-spread-of-the-art-of-the-capital-17th-early-18th-centuries/>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 1: Το Αιγυπτιακό σύμβολο ankh, ένας σταυρός, με θήλεια αντί για κεραία, 1981–1802 B.C.,The Metropolitan Museum of Art</i> .....	15
<i>Εικόνα 2: Διαφορετικοί Τύποι σταυρών (Καλοπίση-Βέρτη et al.. 2011:286)</i> .....	16
<i>Εικόνα 3: Khachkar-Λίθινος σταυρός, Αρμενία, 12ος αιώνας, The Metropolitan Museum of Art</i> .....	18
<i>Εικόνα 4: Λειψανοθήκη σταυρού, αρχές του XIII αιώνα, καθεδρικός ναός της Λιέγης. (Πηγή: Bruni 2021)</i> .....	18
<i>Εικόνα 5: Ανάγλυφη μικρογραφική Σταύρωση σε ελεφαντόδοντο, 10ος αιώνας, MET, τμήμα τρίπτυχου, διαστάσεις: 15.1 × 8.9 × 0.8 cm, The Metropolitan Museum of Art</i> .....	19
<i>Εικόνα 6: Μικροτεχνία, ανάγλυφες μορφές σε σκήπτρο του Λέοντος ΣΤ (886 - 912 μ.Χ.), Βερολίνο, Museum for Spatantike and Byzantinische Kunst</i> .....	20
<i>Εικόνα 7: Σταυρός ευλογίας με πυρήνα από ελεφαντοστό, έτος 1678, ύψος 23,2 cm. Η επιγραφή «Συμεών» αφορά μάλλον το όνομα του γλύπτη. Το δέσιμο του σταυρού με λεπτό συρματερό σμάλτο φέρει την υπογραφή «ΧΕΙΡ ΙΩΑΝΝΟΥ» «ΠΑΝΤΑΣΕΒΑΤΟ ΧΡΥΣΟ ΣΚΗΠΤΡΟ ΣΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΙΕΡΟΜΟΝΑΧΟΥ ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ ΒΑΤΟΠΑΙΔΙΟΥ», I.M.M. Βατοπαιδίου</i> .....	21
<i>Εικόνα 8: Σταυρός αγιασμού (Μουσείο Μπενάκη TA197) (Πηγή: ΘΗΣΑΥΡΟΙ ΤΗΣ ΟΡΘΟΔΟΞΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 1994)</i> .....	23
<i>Εικόνα 9: Σταυρός αγιασμού, 17ος-18ος αιώνας, Ξύλο, χαλκός, κοράλλι, ημιπολύτιμοι λίθοι. Ύψος. 37,5 cm Capelloroulos Museum</i> .....	23
<i>Εικόνα 10: Δίπτυχο με ανάγλυφη μικρογραφική Γέννηση και Προσκύνηση των Μάγων, ασήμι και νιέλο, κορνίζα επίχρυση, Παρίσι, γ. 1500, The Cloisters</i> .....	26
<i>Εικόνα 11: Κάτοψη και τομή κατά μήκος Αγίου Γεωργίου Ροτόντας Θεσσαλονίκης, Διαδικτυακή πηγή: Βυζαντινή Αθήνα</i> .....	32
<i>Εικόνα 12: Διάγραμμα διαδικασιών τρισδιάστατης ψηφιοποίησης με NeRF, (Πηγή: MÜLLER Et al.2022)</i> .....	37
<i>Εικόνα 13: Instant NGP by NVIDIA (Πηγή: MÜLLER Et al.2022)</i> .....	41
<i>Εικόνα 14: Τα δεδομένα εισαγωγής στη φόρμουλα και τα δεδομένα που εξάγει για να παραχθούν τα NeRF, (Rakhsit 2022)</i> .....	42

<i>Εικόνα 15: Σταυρός 1, Α ομάδας, επασημωμένος, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη .....</i>	<i>45</i>
<i>Εικόνα 16: Σταυρός 2, Α ομάδας, επιχρυσωμένος, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη.....</i>	<i>47</i>
<i>Εικόνα 17: Σταυρός 3, Α ομάδας, μίμηση ελεφαντόδοντου, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη .....</i>	<i>48</i>
<i>Εικόνα 18: Σταυρός 4, ομάδας Β, με ζωγραφικό στρώμα, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη</i>	<i>51</i>
<i>Εικόνα 19 : Σταυρός 5, Β ομάδας, ασημένιος εγχάρακτος, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη .....</i>	<i>52</i>
<i>Εικόνα 20: Σταυρός 6, Β ομάδας, Ιστορικό Μουσείο Κρήτης, εμπρόσθια (α) και οπίσθια (β) όψη .....</i>	<i>53</i>
<i>Εικόνα 21: VALUES IN 100X LINES PER PICTURE HEIGHT.....</i>	<i>61</i>
<i>Εικόνα 22: Nikon D7000 .....</i>	<i>64</i>
<i>Εικόνα 23: Τρίγωνο έκθεσης που αφορά στο διάφραγμα, στην ταχύτητα κλείστρου και στο ISO. ....</i>	<i>65</i>
<i>Εικόνα 24: Συμβουλές φωτογραφίας για αρχάριους .....</i>	<i>66</i>
<i>Εικόνα 25: Φακός AF-S DX Nikkor 35mm f/1.8G .....</i>	<i>66</i>
<i>Εικόνα 26: Οπτική γωνία(FOV= Field of View) σε σχέση με εστιακό μήκος. ....</i>	<i>66</i>
<i>Εικόνα 27: Hoya 52mm Linear Polarizer Filter B-52PL-GB.....</i>	<i>67</i>
<i>Εικόνα 28: Νοητοί Δακτύλιοι πορείας της φωτογραφικής κάμερας στον σταυρού 3. ....</i>	<i>69</i>
<i>Εικόνα 29: Βήμα 1 εισαγωγή φωτογραφιών.....</i>	<i>72</i>
<i>Εικόνα 30: Βήμα Έναρξη της ψηφιοποίησης. ....</i>	<i>72</i>
<i>Εικόνα 31: Βήμα ψηφιοποίησης.....</i>	<i>73</i>
<i>Εικόνα 32: Διαφορετικά είδη σημείων αναφοράς .....</i>	<i>74</i>
<i>Εικόνα 33: Αυτοματοποιημένη διαδικασία αντιστοίχισης φωτογραφιών .....</i>	<i>74</i>
<i>Εικόνα 34: Κοντινό πλάνο από το σημείο αντιστοίχισης. ....</i>	<i>75</i>
<i>Εικόνα 35: Επιβεβαίωση περισσότερων σημείων για καλύτερη εκπαίδευση του προγράμματος. ....</i>	<i>75</i>
<i>Εικόνα 36: Ευθυγράμμιση των Control Points.....</i>	<i>76</i>

<i>Εικόνα 37: Επιλογή προσθήκης φωτογραφιών.....</i>	<i>77</i>
<i>Εικόνα 38: Επιλογή Batch process .....</i>	<i>77</i>
<i>Εικόνα 39: Παράδειγμα Batch process.....</i>	<i>78</i>
<i>Εικόνα 40: Μενού επεξεργασίας διαδρομής της κάμερας με το Luma AI.....</i>	<i>79</i>
<i>Εικόνα 41: Έμφαση στις απολήξεις.....</i>	<i>82</i>
<i>Εικόνα 42: Λεπτομέρεια απολήξεων .....</i>	<i>82</i>
<i>Εικόνα 43: Προβλήματα κατά την ψηφιοποίηση.(Agisoft) .....</i>	<i>83</i>
<i>Εικόνα 44: Πίσω όψη NeRF .....</i>	<i>84</i>
<i>Εικόνα 45: Δεν αποδίδεται το ανάγλυφο.....</i>	<i>84</i>
<i>Εικόνα 46: Λεπτομέρεια παράστασης Αγίου Κοσμά .....</i>	<i>85</i>
<i>Εικόνα 47: Λεπτομέρεια από HighPoly το οποίο απέτυχε .....</i>	<i>86</i>
<i>Εικόνα 48:Λεπτομέρεια από Highly Poly Smoothed .....</i>	<i>87</i>
<i>Εικόνα 49:Δεξιά γωνία θέασης πρόσθιας παράστασης Αγίου Κοσμά.....</i>	<i>88</i>
<i>Εικόνα 50: Αριστερή γωνία θέασης παράστασης Αγίου Κοσμά.....</i>	<i>88</i>
<i>Εικόνα 51: Λεπτομέρεια πίσω πλευράς με ανάγλυφο σταυρό .....</i>	<i>89</i>
<i>Εικόνα 52: Λεπτομέρεια στήλης σταυρού 3 (Reality Capture) .....</i>	<i>90</i>
<i>Εικόνα 53: Λεπτομέρεια στήλης σταυρού 3 (Agisoft) .....</i>	<i>90</i>
<i>Εικόνα 54: Λεπτομέρεια απολήξεων και μαργαριταριών σταυρού 3 (Reality Capture).....</i>	<i>91</i>
<i>Εικόνα 55: Λεπτομέρεια απολήξεων και μαργαριταριών σταυρού 3 (Agisoft) .....</i>	<i>91</i>
<i>Εικόνα 56:Λεπτομέρεια παράστασης Αγίου Κοσμά σταυρού 3 (Reality Capture) .....</i>	<i>91</i>
<i>Εικόνα 57:Λεπτομέρεια παράστασης Αγίου Κοσμά σταυρού 3 (Agisoft) .....</i>	<i>91</i>
<i>Εικόνα 58: Λεπτομέρεια παράστασης Αγίου Κοσμά σταυρού 3 .....</i>	<i>92</i>
<i>Εικόνα 59: Λεπτομέρεια πίσω όψης σταυρού 3. Προβλήματα απεικόνισης ανάγλυφου και Σεραφείμ. ....</i>	<i>93</i>
<i>Εικόνα 60: Λεπτομέρεια πλαϊνής όψης σταυρού 3. Η σφραγίδα του καλλιτέχνη. ....</i>	<i>93</i>
<i>Εικόνα 61: Αποτέλεσμα φωτογραμμετρίας σταυρός 4.....</i>	<i>94</i>

<i>Εικόνα 62: Αποτέλεσμα φωτογραμμετρίας σταυρός 4, πίσω όψη.....</i>	<i>94</i>
<i>Εικόνα 63: Αποτέλεσμα NeRF σταυρός 4 .....</i>	<i>95</i>
<i>Εικόνα 64: Αποτέλεσμα NeRF σταυρός 4, πίσω όψη .....</i>	<i>95</i>
<i>Εικόνα 65: Αποτέλεσμα NeRF σταυρός 4, κάτοψη .....</i>	<i>96</i>
<i>Εικόνα 66: Αποτέλεσμα Φωτογραμμετρίας σταυρός 5, μπροστά όψη .....</i>	<i>97</i>
<i>Εικόνα 67: Αποτέλεσμα Φωτογραμμετρίας σταυρός 5, πίσω όψη .....</i>	<i>97</i>
<i>Εικόνα 68: Λεπτομέρεια απολήξεων σταυρός 5.....</i>	<i>98</i>
<i>Εικόνα 69: Λεπτομέρεια Φωτογραμμετρίας σταυρός 5, πίσω όψη, Βάπτιση.....</i>	<i>98</i>
<i>Εικόνα 70: Αποτέλεσμα NeRF σταυρός 5 .....</i>	<i>99</i>
<i>Εικόνα 71: Αποτέλεσμα NeRF σταυρός 5, πίσω όψη .....</i>	<i>99</i>
<i>Εικόνα 72: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 5, πίσω όψη, απολήξεις.....</i>	<i>100</i>
<i>Εικόνα 73: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 5, πίσω όψη, Βάπτιση .....</i>	<i>100</i>
<i>Εικόνα 74: Λεπτομέρεια φωτογραμμετρίας σταυρός 6.....</i>	<i>101</i>
<i>Εικόνα 75: Λεπτομέρεια φωτογραμμετρίας σταυρός 6, πίσω όψη.....</i>	<i>101</i>
<i>Εικόνα 76: Λεπτομέρεια κοραλλιών &amp; συρματοτεχνικής .....</i>	<i>101</i>
<i>Εικόνα 77: Λεπτομέρεια τρουλίσκων.....</i>	<i>101</i>
<i>Εικόνα 78: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 6 .....</i>	<i>102</i>
<i>Εικόνα 79: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 6, πίσω όψη .....</i>	<i>102</i>
<i>Εικόνα 80: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 6, κάτοψη .....</i>	<i>103</i>
<i>Εικόνα 81: Λεπτομέρεια NeRF σταυρός 6 κοράλλια.....</i>	<i>103</i>
<i>Εικόνα 82: Λεπτομέρεια βάσης σταυρού 1, μαύρο φόντο.....</i>	<i>105</i>
<i>Εικόνα 83: Λεπτομέρεια βάσης σταυρού 1, πορτοκαλί φόντο.....</i>	<i>105</i>
<i>Εικόνα 84: Σταυρός 2 με φυσικό φωτισμό.....</i>	<i>106</i>
<i>Εικόνα 85: Σταυρός 2, πίσω όψη με φυσικό φωτισμό.....</i>	<i>106</i>
<i>Εικόνα 86: Σταυρός 2, φωτισμός softbox .....</i>	<i>107</i>
<i>Εικόνα 87: Σταυρός 2, φωτισμός softbox σε κλίση 45 μοιρών .....</i>	<i>107</i>



<i>Εικόνα 88: Σταυρός 1, NeRF, πίσω όψη .....</i>	<i>109</i>
<i>Εικόνα 89: Σταυρός 1, NeRF, μπροστά όψη .....</i>	<i>110</i>
<i>Εικόνα 90: Σταυρός 3, NeRF, πίσω όψη .....</i>	<i>110</i>
<i>Εικόνα 91: Σταυρός 1, NeRF με φωτογραφίες.....</i>	<i>110</i>
<i>Εικόνα 92: The smartphone-based Mausoleum (Doss Trento) dataset: some of the used images (a), derived camera network (b), Instant-NGP NeRF 3D result (c) and TLS ground truth data (d). Geometric comparison of the photogrammetric (e) and NeRF (f) 3D results with respect to the TLS GT data (scalar field unit in meters).....</i>	<i>113</i>
<i>Εικόνα 93: Μερικές από τις εικόνες REKREI που χρησιμοποιήθηκαν για την (α)τρισιδιάστατη ανακατασκευή του ναού της Παλμύρας και του (β)ανακτημένου δικτύου καμερών (c) NeRF-W 3D προβολή (d)οπτική σύγκριση των φωτογραμμετρικών αποτελεσμάτων (b) και NeRF (c) 3D. ....</i>	<i>114</i>
<i>Εικόνα 94: Συνοπτικός πίνακας των διαφορετικών περιπτώσεων που εξετάστηκαν, με σχετική κλίμακα αναπαράστασης.....</i>	<i>114</i>
<i>Εικόνα 95: Σόμπα:(α) φωτογραμμετρικό νέφος σημείου, (β)πλέγμα, (c)Απόδοση NeRF, (d) σύννεφο σημείων που βασίζεται σε NeRF, (e) σύγκριση σύννεφο με σύννεφο.....</i>	<i>115</i>
<i>Εικόνα 96: Καθρέφτης: (α)φωτογραμμετρικό πλέγμα, (b)ογκομετρική απόδοση που δημιουργείται από το NeRF (c)συγκριτική υπέρθεση των δύο διαφορετικών αποτελεσμάτων .....</i>	<i>115</i>
<i>Εικόνα 97: Σταυρός 6 μπροστά όψη .....</i>	<i>124</i>
<i>Εικόνα 98: Σταυρός 6 πίσω όψη .....</i>	<i>124</i>
<i>Εικόνα 99: Σταυρός 6 μπροστά όψη με καθαρισμένο φόντο.....</i>	<i>125</i>
<i>Εικόνα 100: Σταυρός 6 πίσω όψη με καθαρισμένο φόντο.....</i>	<i>125</i>
<i>Εικόνα 101: Σχεδιάγραμμα με πιθανούς συσχετισμούς μεταξύ των 3d μοντέλων για τεκμηρίωση, έρευνα συντήρησης-αποκατάστασης και διάχυσης πληροφορίας όσον αφορά στις εφαρμογές που μπορεί αυτά να έχουν για ακαδημαϊκό, εκπαιδευτικό, ή εμπορικά σκοπό. .</i>	<i>129</i>

## ● ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Δεν απεικονίστηκε	Αχνή απεικόνιση	Όχι ευδιάκριτη απεικόνιση	Ευδιάκριτη απεικόνιση με αρκετά προβλήματα	Ευδιάκριτη απεικόνιση με λίγα προβλήματα	Καλή απεικόνιση με μικρά σφάλματα	Καλή απεικόνιση	Δεν αφορά
✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓✓✓	✓✓✓✓✓✓✓✓	Δ/Α

### ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

Χαρακτηριστικά εξεταζόμενου αντικειμένου	Σταυρός 1	Σταυρός 2	Σταυρός 3	Σταυρός 4	Σταυρός 5	Σταυρός 6
<b>ΥΛΙΚΑ</b>						
Ξύλο	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓
Ασήμι	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓✓
Χρυσός	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Πράσινη Υαλόμαζα	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Κόκκινη Υαλόμαζα	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Μπλε Υαλόμαζα	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Μαργαριτάρια	Δ/Α	Δ/Α	✓✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Ρητίνη	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Λίθος	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Κοράλλι	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓
<b>ΤΕΧΝΙΚΕΣ</b>						

Ζωγραφική Επιφάνεια	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	Δ/Α
Διακοσμητικές Απολήξεις	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓
Χυτός	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α
Ανάγλυφη Παράσταση	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓
Εσώγλυφη Γραμματοσειρά	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Ρόδακες	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Διάτρητη Διακόσμηση	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓
Εγχάρακτη Παράσταση	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α
Σκαλισμένη Παράσταση	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓
Συρματερή Διακόσμηση	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓
Τρουλίσκοι/κω δωνοστάσια	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓
Αντανακλάσεις	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓✓
Λεία Επιφάνεια	✓✓✓ ✓✓	✓✓		Δ/Α		Δ/Α
Ενιαίο Φόντο	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓
Φόντο με σημεία αναφοράς	Δ/Α	✓✓	✓✓✓ ✓✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Μη ενιαίο φόντο	✓✓	✓	✓✓✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ						
Προσβολή ξυλοφάγων	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α
Οξειδωση	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓
Διάβρωση Ξύλου	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓ ✓
Παλαιότερες Επεμβάσεις	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓
Μάτ Επιφάνεια	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓
Μικροανάγλυφα	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓✓
Βάση	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓
Χρωματική Κλίμακα	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓ ✓
Διάκοσμος	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓✓
Απεικόνιση Διαστάσεων	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓
Απόδοση Βάθους	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓
Προβληματικό ς Φωτισμός	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓✓

Χαρακτηριστικά εξεταζόμενου αντικειμένου	Σταυρός 1	Σταυρός 2	Σταυρός 3	Σταυρός 4	Σταυρός 5	Σταυρός 6
<b>ΥΛΙΚΑ</b>						
Ξύλο	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	✓ ✓
Ασήμι	✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓
Χρυσός	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Πράσινη Υαλόμαζα	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Κόκκινη Υαλόμαζα	✓ ✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Μπλε Υαλόμαζα	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Μαργαριτάρια	Δ/Α	Δ/Α	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Ρητίνη	Δ/Α	Δ/Α	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Λίθος	Δ/Α	Δ/Α	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Κοράλλι	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓ ✓ ✓ ✓ ✓
<b>ΤΕΧΝΙΚΕΣ</b>						
Ζωγραφική Επιφάνεια	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α
Διακοσμητικές Απολήξεις	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓
Χυτός	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α	✓ ✓ ✓ ✓	Δ/Α

Ανάγλυφη Παράσταση	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓
Εσώγλυφη Γραμματοσειρά	✓✓✓ ✓	✓✓✓	✓✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Ρόδακες	✓✓✓ ✓✓	✓✓	✓✓✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Διάτρητη Διακόσμηση	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓	Δ/Α	Δ/Α	✓✓
Εγχάρακτη Παράσταση	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓	Δ/Α
Σκαλισμένη Παράσταση	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓
Συρματερή Διακόσμηση	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓
Τρουλίσκοι/κω δωνοστάσια	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓
Αντανακλάσεις	✓✓✓ ✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓
Λεία Επιφάνεια	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	Δ/Α
Ενιαίο Φόντο	✓	✓	✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓
Φόντο με σημεία αναφοράς	✓	✓	✓✓	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α
Μη ενιαίο φόντο	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓
<b>ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ</b>						
Προσβολή ξυλοφάγων	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	Δ/Α	Δ/Α

Οξειδωση	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓
Διάβρωση Ξύλου	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	Δ/Α	✓✓
Παλαιότερες Επεμβάσεις	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	Δ/Α	✓✓
Μάτ Επιφάνεια	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓
Μικροανάγλυφα	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓
Βάση	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓
Χρωματική Κλίμακα	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓
Διάκοσμος	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	Δ/Α	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓
Απεικόνιση Διαστάσεων	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓	✓✓✓ ✓✓
Απόδοση Βάθους	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓
Προβληματικό ς Φωτισμός	✓✓✓ ✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓✓	✓✓✓ ✓✓✓ ✓	✓✓✓	✓✓✓ ✓✓