

**Interreg**

**Ελλάδα-Κύπρος**

Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης



**RE-CULT**



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ



## ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π.4.1

«Ανάπτυξη Οδηγιών (Πρωτοκόλλου) και Μεθοδολογίας για την Ψηφιοποίηση Μνημείων και Κειμηλίων»

---

Νοέμβριος 2021



Συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΤΠΑ) και από Εθνικούς Πόρους της Ελλάδας και της Κύπρου

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1.</b>	<b>ΈΡΓΟ RESULT .....</b>	<b>6</b>
1.1	ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΟΥ .....	6
1.2	ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π.4.1 .....	7
1.2.1	Σκοπός Παραδοτέου .....	8
1.2.2	Σύνδεση με άλλα παραδοτέα.....	9
<b>2.</b>	<b>Η ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΘΡΗΣΚΕΥΤΙΚΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ &amp; ΚΕΙΜΗΛΙΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ .....</b>	<b>10</b>
2.1	ΣΤΑΔΙΑ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ & ΚΕΙΜΗΛΙΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ 12	
2.2	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ & ΙΕΡΩΝ ΚΕΙΜΗΛΙΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ .....	15
2.3	Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ & ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΙΕΡΩΝ ΚΕΙΜΗΛΙΩΝ & ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΟΡΙΑΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ .....	18
2.3.1	Μνημεία προς ταξινόμηση και ψηφιοποίηση .....	18
2.3.2	Συλλογή υλικού για ταξινόμηση & ψηφιοποίηση .....	19
2.3.3	Προετοιμασία του Υλικού προς Ταξινόμηση & ψηφιοποίηση από την ομάδα των ερευνητών του Εργαστηρίου.....	20
<b>3.</b>	<b>ΡΟΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ .....</b>	<b>21</b>
3.1	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ/ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ .....	21
3.2	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	24
3.2.1	Αυτοματισμός .....	24
3.2.2	Φιλικότητα χρήσης (χρηστικότητα) .....	25
3.2.3	Αριθμός σαρώσεων .....	26
3.2.4	Βαθμονόμηση (calibration) .....	26
3.2.5	Απαραίτητο λογισμικό .....	26
3.2.6	Σύνοψη .....	27
3.3	ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3Δ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	28
3.3.1	Συλλογή δεδομένων .....	29
3.3.2	Προ-επεξεργασία δεδομένων .....	30
3.3.3	Απαλοιφή θορύβου.....	31
3.3.4	Ομαδοποίηση και οργάνωση των δεδομένων .....	33
3.3.5	Ευθυγράμμιση και ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων (registration)....	34
3.3.6	Δημιουργία πολυγωνικών πλεγματοσειρών .....	39
3.3.7	Απλοποίηση πλεγματοσειράς - διαφορετικές αναλύσεις .....	41
3.3.8	Δημιουργία υφής.....	42

<b>4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ - ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ -ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΕΠΙΓΕΙΟ</b>	
<b>ΣΑΡΩΤΗ .....</b>	<b>44</b>
4.1 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	44
4.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ .....	45
4.3 ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΣΑΡΩΤΗ .....	46
4.4 ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΣΤΟΧΟΙ - ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ .....	47
4.5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	47
4.6 ΛΗΨΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ .....	49
4.7 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	51
4.7.1 Οπτική επαλήθευση .....	51
4.7.2 Ενσωμάτωση φωτοϋφής.....	51
4.7.3 Ταυτοποίηση.....	52
4.7.4 Γεωαναφορά.....	52
4.7.5 Καθαρισμός δεδομένων .....	53
4.7.6 Έλεγχος ακρίβειας και πιστότητας.....	53
4.8 ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ – ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΑΡΧΕΙΩΝ .....	53
<b>5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ - ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ -ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΦΟΡΗΤΟ</b>	
<b>ΣΑΡΩΤΗ .....</b>	<b>55</b>
5.1 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	55
5.2 ΔΙΑΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΠΡΟΣ ΣΑΡΩΣΗ .....	55
5.3 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΣΑΡΩΤΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΩΝ.....	56
5.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ – ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	56
5.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	57
5.6 ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ – ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΑΡΧΕΙΩΝ .....	58
<b>6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ - ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ -ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ</b>	
<b>ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ .....</b>	<b>59</b>
6.1 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	59
6.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ .....	59
6.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ .....	60
6.4 ΟΔΗΓΙΕΣ – ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ .....	61
6.5 ΤΡΟΧΙΑ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ ΛΗΨΕΩΝ .....	63
6.5.1 Φωτογράφιση μικρού (φορητού) αντικειμένου .....	63
6.5.2 Φωτογράφιση μεγάλου (μη φορητού) αντικειμένου/μνημείου ή χώρου: ....	65
6.6 ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΣΤΟΧΟΙ (ΦΩΤΟΣΤΑΘΕΡΑ) .....	66
6.7 ΟΠΤΙΚΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ .....	67
6.8 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	68
6.9 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ .....	69
6.10 ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΤΗΤΑΣ.....	69
6.11 ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ – ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΑΡΧΕΙΩΝ .....	70

6.12	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ 3DF ΖΕΡΗΥΡ .....	70
6.12.1	Λογισμικό φωτογραμμετρίας .....	70
6.12.2	Καθαρισμός και επεξεργασία 3D μοντέλων .....	71
<b>7.</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ - ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ -ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΕΝΑΕΡΙΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ .....</b>	<b>73</b>
7.1	ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	73
7.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	73
7.2.1	Επιλογή πτητικού μέσου .....	74
7.2.2	Επιλογή κατάλληλου χρονικού πλαισίου για την πτήση .....	74
7.2.3	Επιλογή είδους και σχεδιασμός σχεδίου πτήσεως .....	74
7.2.4	Προδιαγραφές σχεδίου πτήσεως .....	76
7.2.5	Προσανατολισμός αεροφωτογραφιών .....	77
7.2.6	Λήψη σημείων ελέγχου .....	78
7.2.7	Γεωδαισία.....	79
7.2.8	Επεξεργασία δεδομένων .....	79
7.2.9	Καθαρισμός .....	80
7.2.10	Έλεγχος ακρίβειας και πιστότητας.....	81
7.2.11	Παραγωγή ορθοφωτογραφίας .....	82
<b>8.</b>	<b>ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ 2Δ ΕΙΚΟΝΩΝ .....</b>	<b>85</b>
8.1	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	85
8.1.1	GNU Image Manipulator Program (GIMP) .....	85
8.1.2	Image Composite Editor (ICE) .....	86
<b>9.</b>	<b>ΦΟΡΗΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ ΧΕΙΡΟΣ.....</b>	<b>88</b>
9.1.1	Παράδειγμα σάρωσης και επεξεργασία 3D μοντέλου .....	92
<b>10.</b>	<b>3Δ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ .....</b>	<b>98</b>
10.1.1	Web Graphics Library (WebGL) .....	98
10.1.2	Χ3DOM/Χ3D .....	99
10.1.3	JanusVR.....	100
10.1.4	Διαδικτυακές πλατφόρμες για οπτικοποίηση 3D μοντέλων .....	100
<b>11.</b>	<b>ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΤΥΠΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (ΧΕΙΡΟΓΡΑΦΩΝ, ΠΑΛΑΙΤΥΠΩΝ).....</b>	<b>104</b>
11.1	ΣΑΡΩΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΛΥΤΩΝ ΕΓΓΡΑΦΩΝ .....	104
11.2	ΣΑΡΩΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΒΙΒΛΙΟΔΕΤΗΜΕΝΩΝ ΕΓΓΡΑΦΩΝ.....	104
11.3	ΣΑΡΩΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΤΩΝ .....	105
11.4	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΙΓΡΑΦΩΝ .....	105
11.5	ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	106
11.6	Έλεγχος ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ & ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	106
11.7	ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ ΠΡΟΣ ΕΛΕΓΧΟ ΑΠΟΔΟΧΗΣ .....	106

11.8	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΑΡΑΔΟΤΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ .....	108
11.8.1	Πρωτότυπα από χαρτί .....	109
11.8.2	Βιβλιοδετημένο υλικό.....	110
11.9	ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	112
<b>12.</b>	<b>ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΔΟΜΗ ΟΜΑΔΑΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ.....</b>	<b>114</b>
12.1	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ/ΟΜΑΔΑΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	114
12.2	ΟΜΑΔΑ ΣΤΕΛΕΧΩΝ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ ΑΡΧΕΙΑΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ.....	115
12.3	ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ.....	115
<b>13.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>117</b>

# 1. Έργο RE-CULT

Το Στρατηγικό Έργο RE-CULT «ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΘΕΣΜΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΘΡΗΣΚΕΥΤΙΚΟΥ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ ΣΤΗ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ» έχει ως κύριο στόχος του είναι η προώθηση και από κοινού ανάδειξη της της θρησκευτικής πολιτιστικής κληρονομιάς μέσα από την ανάπτυξη συντονισμένου σχεδιασμού δράσεων θεσμικής θεμελίωσης του Θρησκευτικού Τουρισμού στη διασυνοριακή περιοχή Ελλάδος-Κύπρου. Στη στόχευση του έργου κεντρικό ρόλο διαδραματίζει η ενίσχυση της διασυνοριακής συνεργασίας σε θεσμικό και τεχνοκρατικό επίπεδο στους τομείς των τεχνών και του πολιτισμού. Το πρόγραμμα θα αξιοποιήσει τις πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών προκειμένου να δημιουργήσει καινοτόμα εργαλεία που θα ενισχύσουν την ανάπτυξη του θρησκευτικού τουρισμού μέσα και από την επέκταση της τουριστικής περιόδου για τη διασυνοριακή περιοχή. Σκοπός είναι η καθοδήγηση των εμπλεκομένων μερών στη κατεύθυνση της δημιουργίας ενός ολοκληρωμένου τουριστικού προϊόντος μέσα από την ανάδειξη της υλικής και άυλης θρησκευτικής-πολιτισμικής κληρονομιάς της Ελλάδας και της Κύπρου που θα απευθύνεται σε προσκυνητές, φιλέρευνους τουρίστες και θαυμαστές της Τέχνης, μέσα από θρησκευτικές – προσκυνηματικές περιηγήσεις και πολιτισμικά "οδοιπορικά", στους δρόμους που χάραξαν θρησκείες, λαοί και πολιτισμοί κατά τη μακραίωνη ιστορία της διασυνοριακής περιοχής της Ελλάδας και της Κύπρου. Συνδυάζοντας την παράδοση με την τεχνολογία, Έλληνες και ξένοι επισκέπτες θα έχουν τη δυνατότητα να καταστούν κοινωνοί της πλούσιας θρησκευτικής πολιτιστικής της κληρονομιάς. Η προστιθέμενη αξία του έργου έγκειται στο γεγονός ότι θα είναι η πρώτη φορά που στο πλαίσιο ενός έργου θα γίνει ανάπτυξη και εφαρμογή κοινών πακέτων Ελλάδας και Κύπρου θρησκευτικού τουρισμού με την αξιοποίηση και της πλατφόρμας – ψηφιακού μουσείου ως συγχρονο και καινοτόμο μέσο προσέλκυσης τουριστών. Τέλος, η προστιθέμενη αξία του έργου έγκειται στη θεσμική ενδυνάμωση της μορφής του θρησκευτικού τουρισμού τόσο μέσα και από τις δομές της ψηφιοποίησης και το Παρατηρητήριο Θρησκευτικού Τουρισμού που θα δημιουργηθεί.

## 1.1 Στόχοι έργου

Ειδικότεροι στόχοι του έργου είναι:

Ο κύριος στόχος του Στρατηγικού Έργου είναι η προώθηση, η διατήρηση και από κοινού ανάδειξη της θρησκευτικής πολιτιστικής κληρονομιάς μέσα από την ανάπτυξη της δικτύωσης και συνεργασίας των φορέων για το συντονισμένο και από κοινού σχεδιασμό πολιτικών και δράσεων προώθησης και θεσμικής θεμελίωσης του Θρησκευτικού Τουρισμού στη διασυνοριακή περιοχή της Ελλάδας και της Κύπρου. Και οι δύο περιοχές είναι προικισμένες με ένα πανέμορφο φυσικό τοπίο, και ως εκ τούτου ο συνδυασμός της

φύσης και οι όμορφες εκκλησίες και τα μοναστήρια μπορούν να προσφέρουν τεράστιες δυνατότητες για την ανάπτυξη των εναλλακτικών μορφών τουρισμού. Αποτέλεσμα του έργου μπορεί να είναι η επέκταση της τουριστικής περιόδου και η αύξηση της επισκεψιμότητας στη διασυνοριακή περιοχή.

Οι επιμέρους στόχοι του έργου περιλαμβάνουν:

- Καταγραφή και τεκμηρίωση υλικών και άυλων στοιχείων θρησκευτικής πολιτιστικής κληρονομιάς της διασυνοριακής περιοχής, προς ψηφιοποίηση
- Ψηφιακή καταλογογράφηση, που θα συνοδεύεται από μια εφαρμογή περιήγησης με χάρτες και χρονολόγια. Θα προσφέρει τη δυνατότητα της καταγραφής, αναζήτησης και ανάκτησης αντικειμένων και μνημείων θρησκευτικής κληρονομιάς, καθώς και συσχέτισης με αυτά ψηφιακών πόρων • Σχεδιασμός και ανάπτυξη ψηφιακού μουσείου, ψηφιακής βιβλιοθήκης και κινητής εφαρμογής (mobile app) εικονικής περιήγησης
- Δράσεις ενημέρωσης, προβολής και ανάδειξης των ψηφιακών αποθετηρίων (συμπεριλαμβανομένης της προμήθειας και τοποθέτησης info kiosks)
- Σήμανση επιλεγμένων σημείων στις περιοχές παρέμβασης
- Πιλοτική ανάπτυξη Διαδρομών με πιστοποίηση
- Εκπαίδευση εμπλεκόμενων φορέων • Ενέργειες θεσμικής ενίσχυσης του Θρησκευτικού Τουρισμού
- Ανάπτυξη δικτύωσης και συνεργασίας μεταξύ φορέων τουρισμού, φορέων διαχείρισης πολιτιστικών και θρησκευτικών μνημείων.
- Ανάπτυξη κοινών εργαλείων ανάδειξης της θρησκευτικής πολιτιστικής κληρονομιάς της περιοχής

## 1.2 Παραδοτέο Π.4.1

Το παρόν παραδοτέο είναι το Π.4.1 «Ανάπτυξη Οδηγιών (Πρωτοκόλλου) και Μεθοδολογίας για την Ψηφιοποίηση Μνημείων και Κειμηλίων». Ανήκει στην Ενότητα ΠΕ4 «Ανάπτυξη Εργαλείων ICT».

Οι εργασίες ψηφιοποίησης απαιτούν αναλυτική και προσεκτική σχεδίαση όλων των επιμέρους ενεργειών για την επίτευξη του τελικού τους στόχου. Οι μελέτες βασίζονται σε ένα πλάνο που αφορά τα παρακάτω θέματα:

- το βασικό σκοπό και στόχο της εργασίας
- τα οφέλη από μια τέτοια δραστηριότητα
- το προσωπικό και τον τρόπο που θα εργαστεί
- την ασφάλεια του πολιτιστικού θησαυρού
- την οργάνωση των επιμέρους εργασιών
- το χώρο πραγμάτωσης των εργασιών
- τα αναμενόμενα αποτελέσματα

- τα χρονοδιαγράμματα
- τις διαδικασίες διαχείρισης

Η αξία των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς είναι ανυπολόγιστη λόγω της σπανιότητάς τους αλλά και της πληροφορίας που μεταφέρουν. Τα δομικά τους υλικά τις περισσότερες φορές είναι εύθραυστα και αυτό επιβάλλει τη φύλαξη τους σε ειδικούς χώρους, εφόσον πρόκειται για αντικείμενα που μπορούν να μετακινηθούν.

Κάθε έργο τρισδιάστατης αποτύπωσης οφείλει να ακολουθεί μια συγκεκριμένη μεθοδολογία για την καταγραφή του πολιτισμικού/θρησκευτικού αποθέματος. Η μεθοδολογία αυτή θα πρέπει να περιέχει σενάρια, τα οποία θα περιγράφουν τους τρόπους καταγραφής.

### 1.2.1 Σκοπός Παραδοτέου

Σκοπός του Παραδοτέου Π4.1 είναι να πραγματοποιηθεί μια καταγραφή της απαραίτητης διαδικασίας (πρωτοκόλλου) ψηφιοποίησης σε δύο και τρεις διαστάσεις (2Δ και 3Δ) για τα παρακάτω είδη θρησκευτικής υλικής κληρονομιάς:

- Μνημεία μεγάλης κλίμακας (Ναοί, εσωτερικοί και εξωτερικοί χώροι)
- Μνημεία μικρής κλίμακας (Εκκλησιαστικά κειμήλια, σκεύη, άμφια, ιερές εικόνες, παλαίτυπα)

Το παραδοτέο της ανάπτυξης Οδηγιών (Πρωτοκόλλου) και Μεθοδολογίας για την Ψηφιοποίηση Μνημείων της Περιοχής Παρέμβασης στη διασυνοριακή περιοχή Ελλάδας και Κύπρου» αφορά το Εγχειρίδιο, που θα οδηγήσει στην προστασία, την ανάδειξη, την διάδοση της θρησκευτικής πολιτιστικής κληρονομιάς, αλλά και την δημιουργία ενός ψηφιακού αποθέματος με την κληρονομιά αυτή.

Με το Παραδοτέο αυτό υλοποιείται μια προσπάθεια Καταγραφής και Επιλογής των Θρησκευτικών Μνημείων και κειμηλίων της Περιοχής Παρέμβασης (3 Περιφέρειες), που θα ψηφιοποιηθούν στο πλαίσιο του έργου (καταλογοποίηση, ταξινόμηση, ψηφιοποίηση) των Μνημείων και σημαντικότερων κειμηλίων.

Περιλαμβάνεται το μέρος της Θρησκευτικής Πολιτιστικής Κληρονομιάς αναφορικά με Εκκλησίες, Ξωκλήσια, Μοναστήρια και κειμήλια όπως π.χ. Ιερές Εικόνες, Ιερά κειμήλια, Ιστορικά Χειρόγραφα, Ιερά Σκεύη κ άλλα αντικείμενα, στα νησιά και στις τρεις (3) Περιφέρειες.

Στο συγκεκριμένο Παραδοτέο το Πανεπιστήμιο Αιγαίου, θα επιδιώξει να αναπτύξει και την ιδιαιτερότητα της μεθόδου της ταξινόμησης και ψηφιοποίησης των Μνημείων κ Ιερών Κειμηλίων που πρέπει να ακολουθηθεί από τους ερευνητές που θα στελεχώσουν το Εργαστήριο Ψηφιοποίησης στα πλαίσια της αντίστοιχης Δράσης.



### 1.2.2 Σύνδεση με άλλα παραδοτέα

Το Παραδοτέο Π.4.1 συνδέεται με το Παραδοτέο Π.4.2 «Ψηφιοποίηση και Τεκμηρίωση Υλικών Στοιχείων Θρησκευτικής Πολιτιστικής Κληρονομιάς», στο σημείο όπου καταγράφεται η ροή των εργασιών ανάλογα με τις μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν και τον εξοπλισμό που προτείνεται.

## 2. Η Ψηφιοποίηση των Θρησκευτικών Μνημείων & Κειμηλίων της περιοχής παρέμβασης

Τα Θρησκευτικά Μνημεία μπορούν να υπαχθούν σε Κατηγοριοποίηση, με τα δεδομένα που παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ - Κατηγοριοποίηση Προσκυνηματικών / Θρησκευτικών Μνημείων & Κειμηλίων.

ΤΥΠΟΣ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ
ΜΟΝΑΔΙΚΑ ΕΚΚΛΗΣΙΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΑΝΑΓΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΙΣΙΩΝ, ΠΑΡΙΣΙ
ΤΑΦΙΚΑ ΜΝΗΜΕΙΑ	ΚΑΤΑΚΟΜΒΕΣ (ΡΩΜΗ)
ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟΙ ΝΑΟΙ/ΙΕΡΑ	ΜΠΟΡΟΜΠΟΥΝΤΟΥΡ (ΙΝΔΟΝΗΣΙΑ-ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΣ ΒΟΥΔΙΣΤΙΚΟΣ ΝΑΟΣ), ΑΜΡΙΤΣΑΡ (ΙΝΔΙΑ-ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΣ ΝΑΟΣ ΤΩΝ ΣΙΧΙΣΤΩΝ)
ΟΛΟΚΛΗΡΕΣ ΠΟΛΕΙΣ	ΙΕΡΟΥΣΑΛΗΜ, ΡΩΜΗ, ΑΣΙΖΙ, ΒΗΘΛΕΕΜ, ΒΑΡΑΝΑΣΙ (ΙΝΔΟΥΙΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ), ΚΑΝΤΙ ΚΑΙ ΑΝΟΥΡΑΝΤΠΟΥΡΑ (ΒΟΥΔΙΣΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ ΣΤΗ ΣΡΙ ΛΑΝΚΑ ), ΚΟΥΣΙΝΓΚΑΡΑ ΚΑΙ ΣΑΡΝΑΘ (ΙΝΔΙΑ-ΒΟΥΔΙΣΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ), ΛΟΥΜΠΙΝΙ (ΝΕΠΑΛ-ΒΟΥΔΙΣΜΟΣ)
ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΝΑΩΝ / ΙΕΡΩΝ	ΛΑΛΙΜΠΕΛΑ (ΑΙΘΙΟΠΙΑ-ΟΡΘΟΔΟΞΗ ΕΚΚΛΗΣΙΑ και παγκόσμιο μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς), ΠΟΤΑΛΑ (ΠΑΛΑΤΙ ΤΟΥ ΔΑΛΑΙ ΛΑΜΑ-μνημείο παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς), ΑΓΙΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΤΟΥ ΣΙΝΑ (ΑΙΓΥΠΤΟΣ), ΜΑΧΑΜΠΟΝΤΙ (ΙΝΔΙΑ-ΒΟΥΔΙΣΜΟΣ)
ΝΕΟΠΑΓΑΝΙΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	ΓΚΛΑΝΣΤΟΝΜΠΕΡΥ (ΑΓΓΛΙΑ)
ΙΕΡΑ ΒΟΥΝΑ ΚΑΙ ΠΟΤΑΜΟΙ	ΟΥΛΟΥΡΟΥ (ιερό για τους Αβορίγινες της Αυστραλίας-ΜΝΗΜΕΙΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ), ΕΒΕΡΕΣΤ, ΓΑΓΓΗΣ
ΙΕΡΑ ΝΗΣΙΑ	ΙΟΝΑ (ΜΟΝΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΗΣ ΣΚΩΤΙΑΣ), ΜΟΝ-ΣΑΙΝ-ΜΙΣΕΛ (ΑΒΑΕΙΟ ΤΗΣ ΓΑΛΛΙΑΣ ΚΑΙ ΜΝΗΜΕΙΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ)
ΠΡΟΣΚΥΝΗΜΑΤΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ	ΜΕΚΚΑ, ΜΕΔΙΝΑ, ΣΑΝΤΙΑΓΚΟ ΝΤΕ ΚΟΜΠΟΣΤΕΛΑ, ΦΑΤΙΜΑ, ΓΟΥΑΔΕΛΟΥΠΗ (ΜΕΞΙΚΟ), ΛΟΥΡΔΗ ΣΑΝ ΣΕΜΠΑΣΤΙΑΝ ΝΤΕ ΚΑΡΑΜΠΑΝΤΑΛ ΚΑΙ ΣΑΝ ΝΤΑΜΙΑΝΟ (ΙΤΑΛΙΑ), ΜΠΑΝΕΞ ΚΑΙ ΜΠΕΟΥΡΕΝΓΚ (ΒΕΛΓΙΟ), ΛΙΣΙΕ, ΠΟΤΜΕΝ ΚΑΙ ΠΑΡΕ ΛΕ ΜΟΝΙΑΝ (ΓΑΛΛΙΑ) ΚΑΡΑΒΑΤΖΙΟ, ΚΑΣΚΙΑ , ΜΟΝΤΕΝΕΡΟ ΚΑΙ ΛΟΡΕΤΟ (ΙΤΑΛΙΑ), ΜΑΡΙΑΖΕΛ (ΑΥΣΤΡΙΑ), ΜΕΝΤΖΟΥΓΚΟΡΓΙΕ (ΒΟΣΝΙΑ) ΚΝΟΚ, ΝΕΒΙΓΚΕ, ΚΕΒΕΛΑΕΡ ΚΑΙ ΑΛΤΟΤΙΝΓΚ (ΓΕΡΜΑΝΙΑ)

ΤΥΠΟΣ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ
ΘΡΗΣΚΕΥΤΙΚΑ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΑ ΑΞΙΟΘΕΑΤΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΗ ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ	ΚΑΘΕΔΡΙΚΟΣ ΝΑΟΣ ΣΑΤΡ (ΓΑΛΛΙΑ), ΚΟΒΑΝΤΟΝΓΚΑ (ΙΣΠΑΝΙΑ), ΚΑΘΕΔΡΙΚΟΣ ΝΑΟΣ ΚΟΛΩΝΙΑΣ, ΒΑΤΙΚΑΝΟ, ΑΒΑΕΙΟ ΓΟΥΕΣΤΙΜΙΝΙΣΤΕΡ
ΘΡΗΣΚΕΥΤΙΚΑ ΦΕΣΤΙΒΑΛ	ΛΕΣ ΜΠΟΞ, ΝΙΜΠΕΡΓΚ, ΚΑΝΤΑΒΑΝΤΟ
ΘΡΗΣΚΕΥΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΙΚΑ ΠΑΡΚΑ	ΟΡΛΑΝΤΟ (ΙΕΡΟΙ ΤΟΠΟΙ ΤΗΣ ΙΕΡΟΥΣΑΛΗΜ), Ν.ΤΕΞΑΣ (Marianland), Mesquite (ΝΕΒΑΔΑ), Ν.ΚΑΡΟΛΙΝΑ
ΜΟΥΣΕΙΑ ΘΡΗΣΚΕΥΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ	ΒΥΖΑΝΤΙΝΟ ΧΡΙΣΤΙΑΝΙΚΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, ΒΥΖΑΝΤΙΝΟ ΧΡΙΣΤΙΑΝΙΚΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΕΚΘΕΣΗ ΚΕΙΜΗΛΙΩΝ ΜΟΝΑΣΤΗΡΙΟΥ ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ ΣΤΟΝ ΟΛΥΜΠΟ, ΕΚΚΛΗΣΙΑΣΤΙΚΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΚΑΤΕΡΙΝΗΣ
ΜΗ ΜΟΝΙΜΕΣ ΘΡΗΣΚΕΥΤΙΚΕΣ ΕΚΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΚΥΝΗΜΑΤΑ ΣΕ ΙΕΡΑ ΕΚΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΔΡΕΥΟΥΝ ΠΡΟΣΩΡΙΝΑ ΣΕ ΕΚΚΛΗΣΙΑΣΤΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ	ΘΗΣΑΥΡΟΙ ΤΟΥ ΑΓΙΟΥ ΟΡΟΥΣ, ΤΙΜΙΟ ΞΥΛΟ ΙΗΣΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ, ΖΩΝΗ ΠΑΝΑΓΙΑΣ
ΙΕΡΑ ΚΕΙΜΗΛΙΑ	ΑΓΙΑ ΔΙΣΚΟΠΟΤΗΡΑ, ΕΙΚΟΝΕΣ, ΣΤΑΥΡΟΙ, ΑΛΛΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ.

Τα Θρησκευτικά Μνημεία διακρίνονται σε:

Α) κτίρια που έχουν χάσει τη θρησκευτική τους ιδιότητα, δηλαδή θα λέγαμε ότι είναι θρησκευτικώς ανενεργά ή «ενεργοποιούνται» σε ειδικές ημέρες, οπότε και η πρόσβαση στους τουρίστες την περίοδο αυτή είναι περιορισμένη (π.χ. το Αβαείο του Γουεστμίνστερ, η Παναγία των Παρισίων, ο Καθεδρικός Ναός του Αγίου Παύλου, ο Άγιος Πέτρος στη Ρώμη)

Β) κτίρια που έχουν ιστορικό, θρησκευτικό ή αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον ή βρίσκονται σε ειδυλλιακό τοπίο που προσελκύουν τουρίστες (π.χ. καθεδρικός ναός της Σαρτρ και το αβαείο του Μον Σαιν Μισέλ που βρίσκεται σε ένα νησί συνδεδεμένο με μια λωρίδα γης με την ξηρά, γύρω από το οποίο παρατηρείται ένα από τα σημαντικότερα και θεαματικότερα παλιρροϊκά φαινόμενα).

Γ) κτίρια με θρησκευτικό και προσκυνηματικό χαρακτήρα όπως μοναστήρια, ασκητήρια, θρησκευτικές σχολές, βιβλιοθήκες κ.λπ. όπου μπορούν οι επισκέπτες να διαμείνουν ή να παρακολουθήσουν διαλέξεις ή να πραγματοποιήσουν έρευνα.

Δ) κτίρια που χρησιμοποιούνται ως μουσεία ή εκθεσιακοί χώροι όπου εκτίθενται θρησκευτικά αντικείμενα (Λύτρας, 2001).



Τα Θρησκευτικά Κειμήλια διακρίνονται σε:

- A) Ιερές Εικόνες που έχουν τοποθετηθεί στο Ιερό Ναό ή βρίσκονται σε προθήκες για προστασία.
- B) Αντικείμενα όπως Άγια Δισκοπότηρα τα οποία βρίσκονται στο εσωτερικό του Ιερού Ναού.
- Γ) Σταυροί και άλλα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται τοποθετημένα στον Ιερό Ναό ή σε προθήκες για προστασία.

## **2.1 Στάδια Ψηφιοποίησης Μνημείων & Κειμηλίων που αφορούν την περιοχή παρέμβασης**

Ο κύκλος ζωής της ψηφιοποίησης αφορά όλες οι απαραίτητες ενέργειες που ακολουθεί η ομάδα των ερευνητών, για να επιτύχει την ψηφιοποίηση του πολιτιστικού περιεχομένου του. Ο κύκλος ξεκινά από τον αρχικό σχεδιασμό του προγράμματος ψηφιοποίησης, επεκτείνεται στην καθ' αυτό ψηφιοποίηση των κτιρίων, αντικειμένων και καταλήγει σε ζητήματα προβολής, μακροπρόθεσμης διατήρησης και επαναχρησιμοποίησης του ψηφιακού αποθέματος.

Τα στάδια του κύκλου ζωής της ψηφιοποίησης αναλύονται παρακάτω:

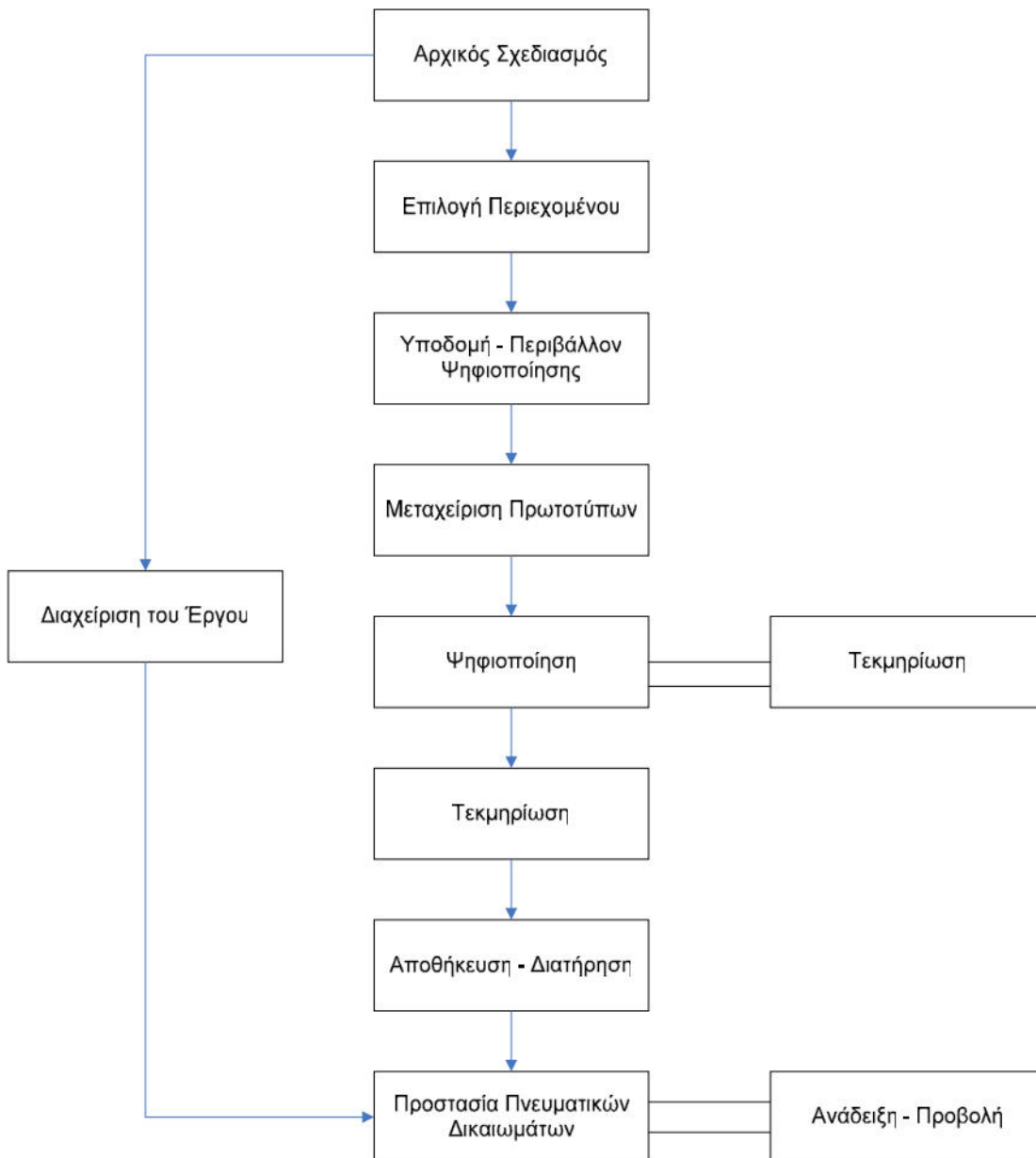
- Σχεδιασμός του έργου ψηφιοποίησης: Είναι το πρώτο βήμα σε κάθε έργο ψηφιοποίησης. Κάθε έργο όπως και αυτό της ψηφιοποίησης πρέπει να διαθέτει σαφώς καθορισμένους στόχους, επαρκείς πόρους, κατάλληλα καταρτισμένο προσωπικό, και ένα πλάνο για την υλοποίηση.
- Επιλογή περιεχομένου: Στην πλειοψηφία των έργων δεν είναι εφικτή η ψηφιοποίηση όλων των κτιρίων, αντικειμένων. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η επιλογή αυτών που πρόκειται να ψηφιοποιηθούν. Τα κριτήρια για την επιλογή ποικίλουν ανάλογα με τους στόχους του έργου της ψηφιοποίησης, την ευαισθησία του περιεχομένου, γεωγραφικά κριτήρια κλπ.
- Προετοιμασία για ψηφιοποίηση: Μια κατάλληλη υποδομή σε υλικό πληροφορικής αλλά και σε λογισμικό εφαρμογών καθώς και ένα περιβάλλον με κατάλληλες συνθήκες, πρέπει να είναι έτοιμα πριν την έναρξη της διαδικασίας ψηφιοποίησης. Τα στοιχεία που απαρτίζουν ένα τέτοιο περιβάλλον περιλαμβάνουν εξοπλισμό για τη διαδικασία της ψηφιοποίησης (για παράδειγμα σαρωτές, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, εξοπλισμός ψηφιοποίησης ήχου και κινούμενων εικόνων, drone και άλλα), ένα υπολογιστικό σύστημα με το οποίο θα διασυνδεθούν οι παραπάνω συσκευές, λογισμικό επεξεργασίας εικόνας, λογισμικό διαχείρισης του ψηφιοποιημένου υλικού κλπ. Το περιβάλλον στο οποίο θα λάβει χώρα η διαδικασία ψηφιοποίησης πρέπει να είναι κατάλληλο για τα προς ψηφιοποίηση κτίρια,

αντικείμενα, για παράδειγμα θα πρέπει η αίθουσα του Εργαστηρίου να ικανοποιεί ειδικές συνθήκες φωτισμού και υγρασίας.

- **Μεταχείριση των πρωτοτύπων:** Το συγκεκριμένο στάδιο του κύκλου ζωής της διαδικασίας ψηφιοποίησης μπορεί να θεωρηθεί προφανές, ωστόσο η αναλυτική παρουσίασή του είναι αναπόφευκτη, αφού σε πολλά από τα έργα ψηφιοποίησης υπάρχουν αντικείμενα τα οποία είναι σπάνια ή εύθραυστα, καθώς και κτίρια με αρχιτεκτονικές ιδιαιτερότητες. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητο να εξασφαλιστεί ότι θα ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές συνέπειες από την ψηφιοποίησή τους.
- **Ψηφιοποίηση:** Το στάδιο αυτό αναφέρεται στην διαδικασία της ψηφιοποίησης, δηλαδή τη σάρωση, την ψηφιακή φωτογράφιση και γενικά την ψηφιακή αποτύπωση των πρωτοτύπων σε συνδυασμό με την ψηφιακή επεξεργασία που μπορεί να υποστούν. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης θα αποτυπωθούν λεπτομερώς οι παράμετροι της ψηφιοποίησης κτιρίων & αντικειμένων.
- **Διατήρηση του ψηφιακού περιεχομένου:** Ένας σημαντικός στόχος κάθε έργου ψηφιοποίησης είναι η προστασία και η διασφάλιση της πρόσβασης στο ψηφιακό περιεχόμενο που έχει δημιουργηθεί. Για την εκπλήρωσή του είναι απαραίτητη η αντιμετώπιση θεμάτων, όπως οι απαρχαιωμένοι τύποι αρχείων και τα απαρχαιωμένα αποθηκευτικά μέσα, αλλά και η προστασία του ψηφιακού περιεχομένου από φυσικές καταστροφές, περιβαλλοντικούς παράγοντες και ανθρώπινες παρεμβάσεις. Παράλληλα παρουσιάζεται και το ζήτημα της μακροπρόθεσμης διατήρησης το οποίο συνιστά θέμα έρευνας τα τελευταία χρόνια.
- **Μεταδεδομένα:** Τα μεταδεδομένα είναι υπό συνεχή ερευνητική δραστηριότητα στο χώρο της ψηφιοποίησης, της διαχείρισης του περιεχόμενου, της επαναχρησιμοποίησης και αναζήτησης του ψηφιοποιημένου περιεχόμενου, της διαλειτουργικότητας, κ.ά. Το σύνολο των μεταδεδομένων που θα επιλεγεί στο πλαίσιο ενός έργου είναι ιδιαίτερης σημασίας για την πορεία του, καθώς από αυτό εξαρτώνται τα χαρακτηριστικά που θα καταγραφούν για την περιγραφή των πρωτοτύπων.
- **Ενέργειες ανάδειξης – προβολής:** Το έργο έχει φτάσει πλέον στο στάδιο κατά το οποίο έχει ολοκληρωθεί η δημιουργία και η αποθήκευση του ψηφιακού αντιγράφου και των μεταδεδομένων του. Το επόμενο στάδιο είναι η ανάδειξη και η προβολή του ψηφιοποιημένου περιεχόμενου. Πριν την προβολή του ψηφιακού αποθέματος επιβάλλεται η κατάλληλη επεξεργασία του. Η ανάδειξη του περιεχόμενου μπορεί να περιλαμβάνει την προβολή του στο Διαδίκτυο, σε κάποιο CD-ROM ή DVD-ROM, eBook κλπ και η επεξεργασία περιλαμβάνει την υποβάθμιση της ποιότητας, άρα και τη μείωση του μεγέθους των αρχείων εικόνας, ήχου, κινούμενης εικόνας, ώστε να μπορούν να προσπελάσουν οι χρήστες το ψηφιακό περιεχόμενο μέσω του Διαδικτύου.
- **Πνευματικά δικαιώματα:** Η δημοσίευση του ψηφιοποιημένου περιεχόμενου θα πρέπει να συνοδεύεται από μία ευρεία ανάλυση της κατάστασης των πνευματικών

δικαιωμάτων που σχετίζονται με το υλικό αυτό. Για υλικό που είναι δημόσια διαθέσιμο το ζήτημα δεν έχει μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας.

- Διαχείριση έργων ψηφιοποίησης: Η επιτυχία ενός έργου ψηφιοποίησης, όπως και κάθε έργου, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαχείρισή του. Ένα καλά οργανωμένο πλάνο για τη διαχείριση του έργου συμβάλλει τα μέγιστα στην επιτυχία του έργου. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται γραφικά η διαδικασία της Ψηφιοποίησης.



Σχήμα 1. Η διαδικασία της ψηφιοποίησης.

## 2.2 Κριτήρια διαδικασίας επιλογής Μνημείων & Ιερών Κειμηλίων προς Καταγραφή και Ψηφιοποίηση

Η διαδικασία της επιλογής του προς ψηφιοποίηση περιεχομένου μπορεί να ξεκινήσει, εφόσον έχουν οριστικοποιηθεί τα αντίστοιχα κριτήρια.

Ειδικότερα:

- Κάθε Μνημείο ή Κειμήλιο το οποίο είναι υποψήφιο για ψηφιοποίηση θα πρέπει αρχικά να κρίνεται από τα κριτήρια επιλογής. Εφόσον για ένα Μνημείο ή Κειμήλιο κάποιο κριτήριο δεν ικανοποιείται, καλό είναι να καταγράφεται. Αν η διαδικασία αυτή οδηγήσει στην απόρριψη κάποιου σημαντικού ή πολύ γνωστού Μνημείου ή Κειμηλίου, ίσως είναι απαραίτητη η αναθεώρηση των κριτηρίων επιλογής. Τα νέα κριτήρια καλό είναι να καταγραφούν και η τελική επιλογή να γίνει σύμφωνα με αυτά. Μετά την τελική επιλογή καλό μπορούν να ανατεθούν προτεραιότητες στα Μνημεία ή/και Κειμήλια που έχουν περάσει από τη διαδικασία επιλογής. Ο πίνακας 1 περιέχει τα στάδια της διαδικασίας επιλογής των προς ψηφιοποίηση Μνημείων & Ιερών Κειμηλίων της περιοχής παρέμβασης καθώς και το ορισμό του υπεύθυνου της ομάδας ψηφιοποίησης.

Στάδια διαδικασίας επιλογής	Υπεύθυνος
<p><b>Υπόδειξη των υποψήφιων αντικειμένων προς ψηφιοποίηση:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Υπόδειξη των Μνημείων και Κειμηλίων που προτείνονται για ψηφιοποίηση</li> <li>Υπόδειξη των Μνημείων και Κειμηλίων που δεν προτείνονται για ψηφιοποίηση</li> </ul>	Υπεύθυνος περιεχομένου
<p><b>Επιλογή των αντικειμένων:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Επιλογή σύμφωνα με τα κριτήρια, αξιολόγηση των κριτηρίων επιλογής καθώς και επιλογή νέων κριτηρίων (αν κριθεί σκόπιμο) και εκ νέου έγκριση των Μνημείων και Κειμηλίων</li> </ul>	Επιτροπή Επιλογής Περιεχομένου
<p><b>Ανάθεση προτεραιοτήτων:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>σύμφωνα με την αξία, την</li> </ul>	Επιτροπή Επιλογής Περιεχομένου

αναμενόμενη χρήση και τους πιθανούς κινδύνους	
---	--

## Πίνακας 1: Στάδια της διαδικασίας επιλογής των προς ψηφιοποίηση Μνημείων και Κειμηλίων

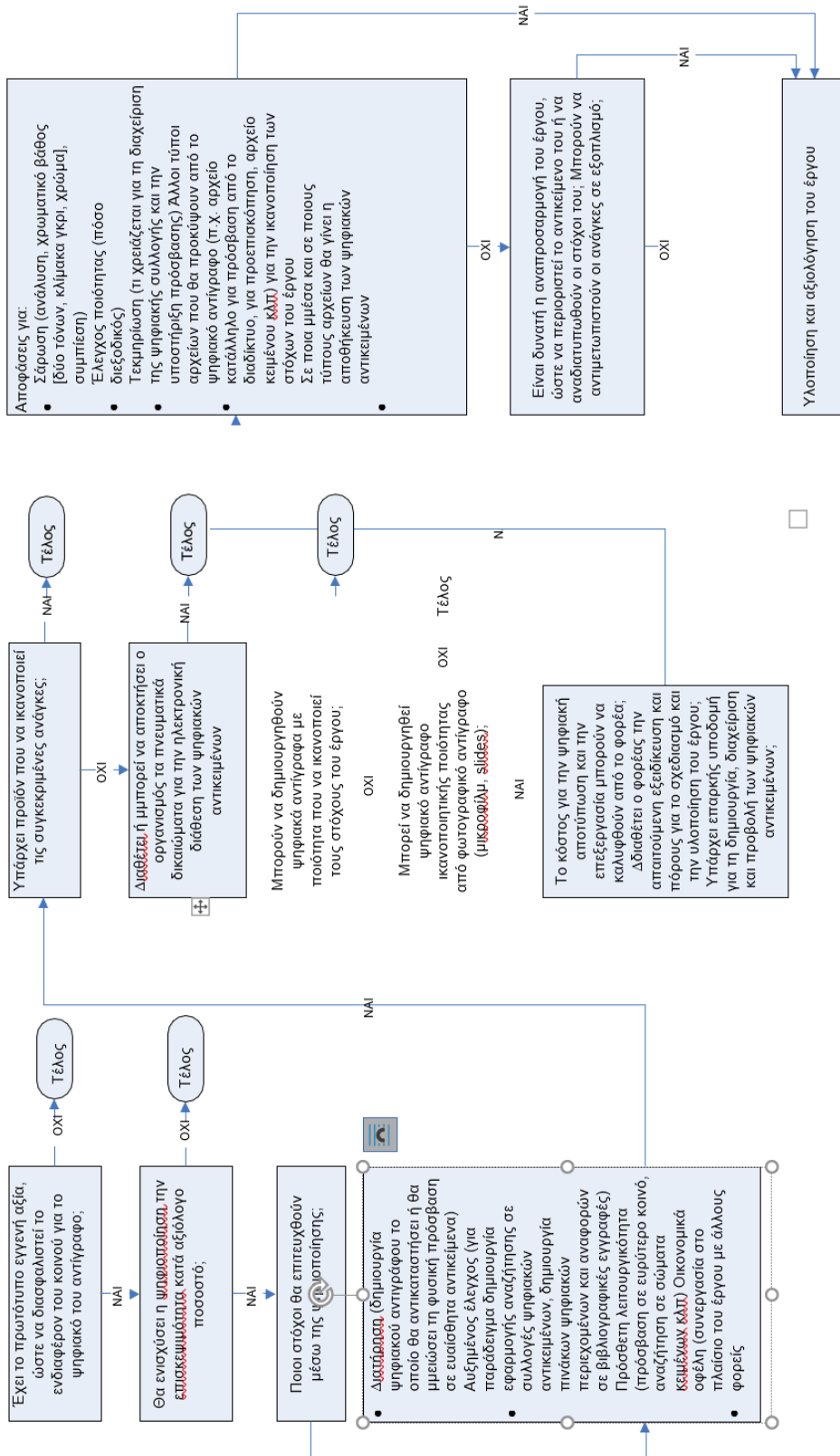
Γενικά θα δοθεί προτεραιότητα στην ψηφιοποίηση των παρακάτω:

- Μνημεία και Κειμήλια για τα οποία ο φορέας κατέχει την ιδιοκτησία τους.
- Εθνικούς / παγκόσμιους θησαυρούς και Μνημεία και Κειμήλια εξαιρετικής ιστορικής, καλλιτεχνικής και εκπαιδευτικής αξίας.
- Μνημεία και Κειμήλια που κινδυνεύουν να καταστραφούν ή είναι εξαιρετικά ευπαθή.
- Μνημεία και Κειμήλια για τα οποία υπάρχει επαρκής τεκμηρίωση.
- Μνημεία και Κειμήλια που περιλαμβάνονται ή πρόκειται να περιληφθούν σε γνωστές εκθέσεις.
- Καλά οργανωμένες συλλογές που έχουν να επιδείξουν εξαιρετική εκπαιδευτική αξία ή / και προσελκύουν το ενδιαφέρον του κοινού.

Στο συγκεκριμένο στάδιο θα γίνει για πρώτη φορά εξέταση καθενός από τα Μνημεία και Κειμήλια που πρόκειται να ψηφιοποιηθούν. Συνεπώς, αυτό είναι το ιδανικό στάδιο για τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για όλα τα Μνημεία και Κειμήλια που πρόκειται να ψηφιοποιηθούν στο πλαίσιο του έργου. Η βάση δεδομένων θα συντελέσει στην καλύτερη διαχείριση του έργου και αναμένεται να επιλύσει διάφορα ζητήματα που μπορεί να ανακύψουν κατά τη διάρκεια του έργου· για παράδειγμα θα είναι δυνατή η καταγραφή και η πρόσβαση σε εξειδικευμένες πληροφορίες σχετικά με σπάνια εκθέματα ή η αντιμετώπιση πιο τυπικών προβλημάτων.

Στην επόμενη σελίδα φαίνεται ένα διάγραμμα ροής της επιλογής περιεχομένου προς ψηφιοποίηση. Το διάγραμμα ροής βασίζεται σε ένα από τα πιθανά μοντέλα και συνοψίζει μερικά από τα κριτήρια και τις αποφάσεις που ελήφθησαν κατά την επιλογή του προς ψηφιοποίηση περιεχομένου.





## 2.3 Η Μεθοδολογία της διαδικασίας ταξινόμησης & ψηφιοποίησης των Ιερών Κειμηλίων & Μνημείων της διασυνοριακής περιοχής παρέμβασης

Στη παρούσα ενότητα γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία της διαδικασίας της ταξινόμησης & ψηφιοποίησης των Θρησκευτικών Μνημείων & Ιερών Κειμηλίων της περιοχής παρέμβασης, που θα υλοποιηθεί περιλαμβάνει ένα πλήρη οδηγό για τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν, σχετικά με τις εργασίες ταξινόμησης, ψηφιοποίησης των Θρησκευτικών Μνημείων αλλά και των Ιερών Κειμηλίων της διασυνοριακής περιοχής, από τους ερευνητές που θα στελεχώσουν το Εργαστήριο ψηφιοποίησης.

Η προπαρασκευαστική αυτή ενότητα ως «οδηγός υλοποίησης» θα αποτελέσει την βάση αναφοράς για την παρακολούθηση της προόδου των εργασιών καθ' όλη την λειτουργία του Εργαστηρίου ψηφιοποίησης, που αφορά τη λειτουργία αλλά και τα Παραδοτέα του Εργαστηρίου που είναι η δημιουργία του ψηφιακού αποθέματος των Μνημείων & Ιερών Κειμηλίων της διασυνοριακής περιοχής.

Αναφέρεται αναλυτικά και καλύπτει όλα τα λειτουργικά υποσυστήματα που αφορούν το Εργαστήριο ψηφιοποίησης.

Συνεπώς, κατ' ελάχιστον περιέχει:

- Αναλυτική περιγραφή του όγκου του υλικού προς ταξινόμηση & ψηφιοποίηση.
- Αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας ελέγχου ποιότητας των ψηφιακών τεκμηρίων.
- Αναλυτική περιγραφή των διαδικασιών ταξινόμησης & ψηφιοποίησης.
- Αναλυτική περιγραφή των διαδικασιών υποστήριξης της τεκμηρίωσης.
- Την απαιτούμενη στελέχωση σε ανθρώπινο δυναμικό και περιγραφή των εμπλεκόμενων ρόλων.
- Τον καθορισμό του τρόπου ονοματοδοσίας των ηλεκτρονικών αρχείων που θα παραχθούν σαν αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης.
- Την διαδικασία μετάπτωσης των ψηφιοποιημένων δεδομένων στο τελικό σύστημα.

### 2.3.1 Μνημεία προς ταξινόμηση και ψηφιοποίηση

Το εκάστοτε Εργαστήριο ψηφιοποίησης θα ενημερώνει από την προηγούμενη ημέρα τον υπεύθυνο της Ιεράς Μητρόπολης αναφορικά με την εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού τεχνολογίας Time of Flight, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την αποτύπωση του Μνημείου και ο τελευταίος θα φροντίζει για την ελεύθερη πρόσβαση στο χώρο του Μνημείου.

Ο Υπεύθυνος του Εργαστηρίου ψηφιοποίησης θα ενημερώνει τον υπεύθυνο της Ιεράς Μητρόπολης για την βέλτιστη χρονική διάρκεια της ημέρας για την σαφέστερη,

ευκρινέστερη και αποτελεσματικότερη αποτύπωση του Μνημείου, ώστε η διαδικασία της βαθμονόμησης του εξοπλισμού να είναι η βέλτιστη.

Η ομάδα του Εργαστηρίου ψηφιοποίησης έχοντας επιλέξει τις κατάλληλες συνθήκες (θέση εξοπλισμού & φως ημέρας), τοποθετώντας τον εξοπλισμό θα εξασφαλίζει την εξάρτηση όσο αναφορά τις συντεταγμένες και την βαθμονόμηση έτσι ώστε να επιτυγχάνει αρκετά δείγματα αποτύπωσης του Μνημείου.

Στη συνέχεια στο χώρο του Εργαστηρίου και με το κατάλληλο λογισμικό θα γίνεται η επεξεργασία των δειγμάτων αποτύπωσης του Μνημείου και θα αρχειοθετείται το ψηφιακό αποτύπωμα του Μνημείου στην σχεδιασμένη βάση δεδομένων.

Με τη κατάλληλη συμπλήρωση της λεκτικής περιγραφής του εκάστοτε Μνημείου το οποίο ψηφιοποιείται θα δημιουργεί η ομάδα του Εργαστηρίου τον μοναδιαίο ψηφιακό φάκελο του Μνημείου, ώστε αυτός να είναι διαθέσιμος για αναπαραγωγή, μελέτη, δημοσίευση ή ακόμα και διάχυση της πληροφορίας στο Διαδίκτυο μέσω δια-δραστικών μέσων τεχνολογίας, διαδικτυακής πύλης κ.τ.λ.

### **2.3.2 Συλλογή υλικού για ταξινόμηση & ψηφιοποίηση**

Το Εργαστήριο ψηφιοποίησης θα ενημερώνει από την προηγούμενη ημέρα τον υπεύθυνο του έργου για το υλικό που θα ψηφιοποιηθεί και ο τελευταίος θα φροντίζει για τη διαθεσιμότητά του στην ομάδα του Εργαστηρίου.

Η παράδοση του υλικού προς ταξινόμηση & ψηφιοποίηση στο Εργαστήριο θα γίνεται τμηματικά. Το Εργαστήριο θα παραλαμβάνει σε ημερήσια βάση το πρωτογενές υλικό προς ταξινόμηση & ψηφιοποίηση, ακολουθώντας διαδικασίες παραλαβής και τηρώντας αναλογικά το αντίστοιχο πρωτόκολλο παραλαβής το οποίο θα φέρει και τις απαιτούμενες υπογραφές, από τους αρμοδίους παράδοσης.

Στο πρωτόκολλο αυτό κατ' ελάχιστο θα καταγράφονται:

- Ο αύξων αριθμός της παραλαβής
- Η ημερομηνία παραλαβής του υλικού από το Εργαστήριο.
- Το ονοματεπώνυμο και υπογραφή του υπευθύνου του Εργαστηρίου για την παράδοση του υλικού.
- Ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία του υλικού που παραλήφθηκε.

Σημειώνεται ότι:

Κάθε τμηματική παραλαβή θα συνοδεύεται από ξεχωριστό πρωτόκολλο εις διπλούν, το ένα από τα οποία θα επιστρέφεται στον αρμόδιο παράδοσης και το άλλο θα φυλάσσεται στο Εργαστήριο.

Το Εργαστήριο μετά την τμηματική παραλαβή του υλικού θα προβαίνει σε έλεγχο των παραληφθέντων δεδομένων και θα συντάσσει τα αντίστοιχα έντυπα ελέγχου τα οποία προβλέπονται από το σύστημα ποιότητας που θα εφαρμόσει.

Στα Ιερά κειμήλια και στις Ιερές Εικόνες θα γίνεται η αριθμητική καταγραφή του υλικού που παρελήφθη, και θα γίνεται αναφορά στην πληρότητα και στην ποιότητα του διατιθέμενου υλικού.

Το Εργαστήριο θα λάβει μέτρα για την μείωση του κινδύνου καταστροφής του υλικού, καθώς και τη διαφύλαξή του από φθορά.

### **2.3.3 Προετοιμασία του Υλικού προς Ταξινόμηση & ψηφιοποίηση από την ομάδα των ερευνητών του Εργαστηρίου**

Σε αυτό το στάδιο θα πραγματοποιείται η προετοιμασία του υλικού ούτως ώστε να είναι έτοιμα προς σάρωση.

Οι ερευνητές ως στελέχη της ομάδας έργου θα προετοιμάζουν το υλικό για ψηφιοποίηση.

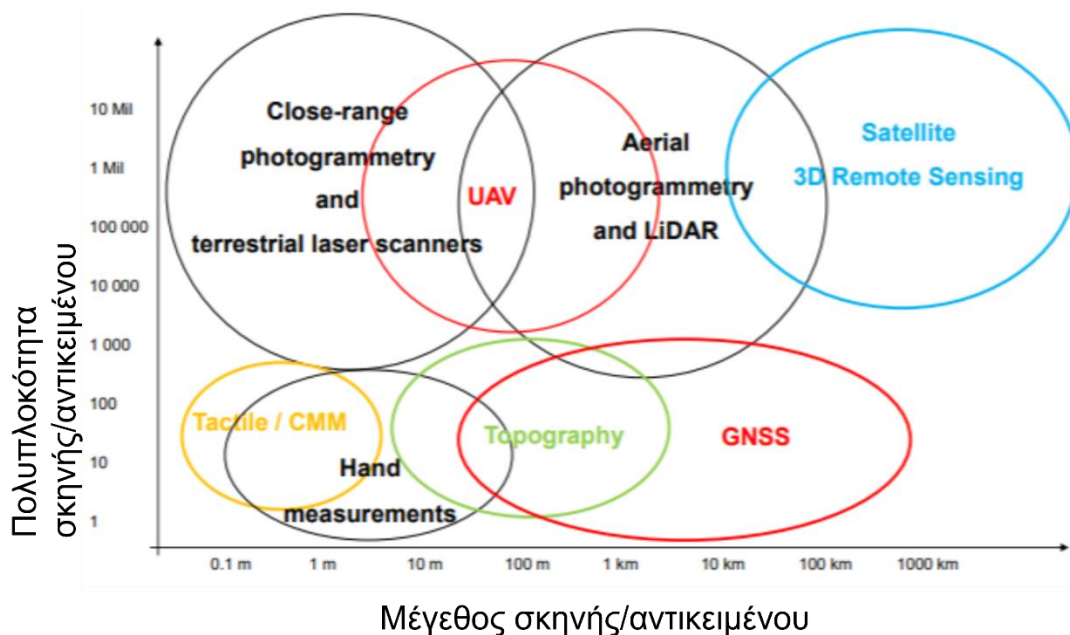
Αναλυτικά κατά την διαδικασία αυτή θα εκτελούνται οι ακόλουθες ενέργειες:

- Εξέταση κάθε αντικειμένου, ώστε να προσδιοριστούν οι διαστάσεις του και η κατάστασή του.
- Έγκριση από τον υπεύθυνο του περιεχομένου ότι η κατάσταση του κάθε αντικειμένου επιτρέπει την ψηφιοποίηση.
- Έλεγχος μήπως υπάρχουν άλλα προβλήματα όσο αναφορά την κατάσταση της ποιότητας του υλικού.
- Ειδική σήμανση των αντικειμένων τα οποία χρειάζονται ειδική μεταχείριση (π.χ. λόγω της κατάστασής τους).
- Απομάκρυνση των πλαστικών προστατευτικών θηκών ή πλαισίων. Βέβαια, η ψηφιοποίηση χωρίς τις θήκες, πλαίσια απαιτεί μεγαλύτερη φροντίδα, συνεπώς και περισσότερο χρόνο.

### 3. ΡΟΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

#### 3.1 Τεχνολογίες Καταγραφής/Ψηφιοποίησης Μνημείων Μεγάλης Κλίμακας

Οι βασικές παράμετροι κατηγοριοποίησης των τεχνολογιών 3D καταγραφής μπορεί να συμπιεστούν σε δύο μόνο κύριες παραμέτρους μπορούν να τις χαρακτηρίσουν επαρκώς. Η πρώτη παράμετρος είναι ο συνολικός αριθμός σημείων ανά αντικείμενο και μπορεί να χαρακτηρίσει την πολυπλοκότητα του αντικειμένου. Η δεύτερη παράμετρος είναι το φυσικό μέγεθος του αντικειμένου που προορίζεται για να καταγραφεί. Οι δυο αυτές παράμετροι είναι αρκετές για να προσδιορίσουν όλο το εύρος των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την 3D καταγραφή αντικείμενων οποιασδήποτε κλίμακας και πολυπλοκότητας. Στην Εικόνα 16 φαίνονται όλες οι τεχνολογίες 3D καταγραφής ανάλογα με την κλίμακα και τον αριθμό των σημείων που καταγράφουν.



Εικόνα 2. Κατηγοριοποίηση τεχνολογιών καταγραφής 3D νεφών σημείων. Ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά το μέγεθος της σκηνής, ενώ ο κάθετος άξονας αναπαριστά το μέγεθος της καταγραφής 3D σημείων.

Ξεκινώντας από τις μικρές κλίμακες και μικρο αριθμό 3D σημείων (χαμηλής ανάλυσης καταγραφές από 1 ως 100 σημεία) βρίσκονται οι τεχνολογίες 3D καταγραφής μέσω επαφής

(tactile), η πιο κοινή τεχνολογία ονομάζεται tactile-CMM (coordinate measurement machine) και απαρτίζεται για ένα μηχάνημα με μια κινούμενη μικρομετρική καρτεσιανή βάση και ένα κάθετα κινούμενο αισθητήριο αφής. Το αισθητήριο δύναται να κινείται εγκάρσια μετρώντας την μετατόπιση του σε κάθε βήμα κάτω με στόχο να διατηρήσει μια σταθερή δύναμη επαφής στο αντικείμενο που καταγράφει. Η καρτεσιανή βάση κινείται στο επίπεδο xy καλύπτοντας όλη την επιφάνεια βήμα-βήμα. Έτσι, σε κάθε βήμα μια Τριάδα σημείων του χώρου καταγράφεται. Η μέθοδος αυτή παρέχει εξαιρετική ακρίβεια χωρίς θόρυβο στα δεδομένα και επιλέξιμη ανάλυση. Παρ' όλ' αυτά, η υψηλή ακρίβεια και ανάλυση με αυτού του τύπου την 3D καταγραφή έρχεται με το κόστος της επαναληψιμότητας, αφού τα σημεία του όγκου του αντικειμένου καταγράφονται ένα προς ένα. Για το λόγο αυτό αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται σε αντικείμενα μικρής κλίμακας (0.1mm - 1m), λόγω του περιορισμένου μεγέθους των συσκευών αυτών, όπου απαιτούνται επαναληπτικά επιβεβαιωμένες μετρήσεις υψηλής ακριβείας.

Συνεχίζοντας με την 3D καταγραφή αντικείμενων υψηλότερες κλίμακες (χαμηλής ανάλυσης) βρίσκονται οι χειρωνακτικές καταγραφές ( 10mm - 10 m), όπου οι μετρήσεις συλλέγονται χειροκίνητα και με τη χρήση απλών μετρητικών εργαλείων (χάρακες, βερνιέρους, μεζούρες, αποστασιόμετρα κλπ). Σε ακόμη μεγαλύτερες κλίμακες καταγραφής (10m - 5km) χαμηλής ανάλυσης βρίσκεται η τοπογραφία όπου οι μετρήσεις και οι αποστάσεις υπολογίζονται γωνιομετρικά με ειδικό εξοπλισμό (σκοπευτικά τύπου theodolite). Τέλος, σε ακόμη μεγαλύτερες κλίμακες, η χαμηλής ανάλυσης καταγραφή γίνεται μέσω δορυφορικής τεχνολογίας προσδιορισμού θέσης, όπως για παράδειγμα το Global Navigation Satellite System (GNSS). Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις αν και το σύνολο των σημείων που καταγράφονται είναι μικρό, τα σημεία καταγραφής χαρακτηρίζονται από εγγυημένα υψηλή ακρίβεια.

Οι τεχνολογίες καταγραφής 3D σημείων χαμηλής ανάλυσης είναι εξαιρετικά χρήσιμες ειδικά όταν η πολυπλοκότητα του προς καταγραφή αντικειμένου είναι σχετικά μικρή. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως, το ενδιαφέρον 3D καταγραφής γέρνει σε προς αντικείμενα υψηλής πολυπλοκότητας όπως τα περισσότερα αντικείμενα της καθημερινής



ζωής που απαιτούν πυκνότερες καταγραφές νεφών σημείων (από 100 έως 100.000.000 σημεία).

Ανεξάρτητα με την κλίμακα του αντικειμένου προς καταγραφή οι τεχνολογίες υψηλής ανάλυσης χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Τις φωτογραμμετρικές τεχνολογίες και τις αποστασιομετρικές τεχνολογίες (range finder, LiDAR ). Και οι δυο κύριες τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν σε οποιαδήποτε κλίμακα ανεξάρτητα από το μέγεθος καταγραφής, ενώ παράλληλα είναι συχνή και η μίξη διαφορών τεχνολογιών (πχ laser scanner τοποθετημένο σε αεροπλάνο) για να βελτιωθεί είτε η ανάλυση είτε η ακρίβεια είτε η κλίμακα κάλυψης.

Η πλέον κοινή αποστασιομετρική 3D καταγραφή γίνεται μέσω 3D laser σαρωτών (scanners), τα οποία γνωστά και ως LiDAR (Light Detection And Ranging). Ένα Laser scanner μπορεί να μετρήσει την απόσταση από το στόχο εκπέμποντας ακτίνες laser, είτε μετρώντας την μετατόπιση φάσης της ανακλώμενης δέσμης, είτε από τον συνολικό χρόνο εκπομπής-επιστροφής ανακλώμενου σήματος (time of flight). Τα laser scanners μετατόπισης φάσης (phase shift) είναι γενικά πιο γρήγορα, καλύπτουν μεγαλύτερο εύρος και έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και γι' αυτό κυριαρχούν ως μέθοδος μέτρησης και συλλογής 3D νεφών σημείων. Από τη άλλη, τα time-of-flight laser-scanners έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να μετρούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Παράλληλα, ανάλογα με το εύρος που απαιτείται να καλυφθεί, τα laser scanners μπορούν να διακριθούν σε επίγεια (terrestrial laser scanners-TLS) που είναι σταθερά και μετακινούνται κατά περίπτωση από την χειριστή τους, τα εναέρια (Aerial laser scanners-ALS) και τα κινητά Mobile laser scanners (MLS). Οι δύο τελευταίοι τύποι έχουν ως σκοπό να καλύψουν όσο το δυνατό μεγαλύτερο εύρος ή/και να χρησιμοποιηθούν για αυτόνομη πλοήγηση ενός οχήματος.

Σύμφωνα με τον Αμερικάνικο Οργανισμό Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing-ASPRS), η φωτογραμμετρία ορίζεται ως η τεχνική, η επιστήμη και η τεχνολογία της πρόσκτησης αξιόπιστης πληροφορίας σχετικής με φυσικά αντικείμενα και του περιβάλλοντος μέσω διαδικασιών καταγραφής, μέτρησης, και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και μοτίβων που έχουν καταγράψει/αποτυπώσει επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Στην φωτογραμμετρία τα 3D νέφη σημείων που περιγράφουν το αντικείμενο

προκύπτουν από την επεξεργασία εικόνων που έχουν προκύψει από διάφορες οπτικές γωνίες, είτε γιατί η φωτογραμμετρική συσκευή αλλάζει θέση δυναμικά, είτε γιατί το αντικείμενο κινείται δυναμικά στο χώρο. Διάφοροι φωτογραμμετρικοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για την ανασύνθεση ενός αντικειμένου σε ένα 3D νέφος σημείων, το οποίο προκύπτει από την επεξεργασία αλληλοεπικαλυπτόμενων φωτογραφιών. Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να προσδιορίσουν την χωρική σχέση των αλληλοεπικαλυπτόμενων φωτογραφιών και έτσι να αναπαραστήσουν το 3D αντικείμενο με ένα 3D νέφος σημείων. Αυτή η ανασύνθεση του νέφους σημείων όπως αναφέρθηκε μπορεί να γίνει μέσω αλγορίθμων, όπως είναι οι αλγόριθμοι structure from motion (SFM) , multi view Stereo (MVS) και άλλοι (Zhang,2013).

## 3.2 Κριτήρια επιλογής συστήματος ψηφιοποίησης δεδομένων

Η πληθώρα των σημερινών συστημάτων 3D ψηφιοποίησης δυσχεραίνει την επιλογή του βέλτιστου συστήματος για συγκεκριμένο έργο ψηφιοποίησης. Όπως η επιλογή οποιουδήποτε συστήματος βασίζεται σε έρευνα αγοράς και εντοπισμό των διαθέσιμων επιλογών έτσι συμβαίνει και στην περίπτωση των συστημάτων 3D ψηφιοποίησης. Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται μια προσπάθεια προσδιορισμού των τεχνικών χαρακτηριστικών που σε συνδυασμό με τους παραπάνω βασικούς κανόνες επιλογής μεθόδου αποτελούν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση επιλογής.

### 3.2.1 Αυτοματισμός

Πολλά συστήματα υλοποιούν επικοινωνία με ένα περιστρεφόμενο τραπέζι και επιτρέπουν την αυτόματη ενοποίηση τμηματικών σαρώσεων, αφού γνωρίζουν τη γωνία θέασης από όπου προκύπτει η κάθε τμηματική σάρωση. Στην περίπτωση αυτή, η μετέπειτα επεξεργασία απελευθερώνεται από διαδικασίες ευθυγράμμισης και ενοποίησης τμηματικών σαρώσεων. Με αυτά τα συστήματα εύκολα μπορεί να χαρακτηρίσει κανείς τη διαδικασία συλλογής δεδομένων ως μια τυποποιημένη ρουτίνα με μοναδικό σημείο



διαφοροποίησης κάθε φορά τη μέθοδο ασφαλούς τοποθέτησης του εκάστοτε αντικειμένου επάνω στο περιστρεφόμενο τραπέζι. Τέτοια συστήματα επιτρέπουν ρυθμούς ψηφιοποίησης που αγγίζουν πολλές φορές και τα πέντε αντικείμενα σε μια εργάσιμη μέρα. Τα συστήματα, όμως, αυτά έχουν συνήθως περιορισμούς ως προς τις διαστάσεις των αντικειμένων που μπορούν να ψηφιοποιήσουν. Πιο γενικευμένες τεχνικές λύσεις, που δεν υποστηρίζουν τη διαχείριση περιστρεφόμενων τραπεζιών δίνουν την ελευθερία στο χειριστή να αποφασίσει αυτός ποια μέθοδο θα ακολουθήσει για να συλλέξει το σύνολο των τμηματικών σαρώσεων που απαιτούνται για την ανακατασκευή του 3D ψηφιακού αντιγράφου. Έτσι, η διαδικασία σάρωσης χάνει το χαρακτηρισμό της αυτοματοποιημένης αλλά διευρύνεται σημαντικά το πεδίο εφαρμογής του εν λόγω συστήματος.

### **3.2.2 Φιλικότητα χρήσης (χρηστικότητα)**

Η ευκολία χειρισμού οποιασδήποτε συσκευής παίζει σημαντικό ρόλο στην εμπορική επιτυχία της. Πολλές φορές η επιλογή ενός συστήματος ψηφιοποίησης γίνεται βάσει της φιλικότητας τους συστήματος προς το χρήστη. Κάποιος μπορεί να διακρίνει εύκολα τις διαφορές στον τρόπο λειτουργίας ανάμεσα σε παλαιότερα και νεότερα συστήματα. Το γεγονός ότι μπορούν να διακριθούν διαφορές σε μια τόσο νέα αγορά είναι μια σημαντική ένδειξη για τη διαρκή βελτίωση των συστημάτων αυτών στο άμεσο μέλλον. Το επίπεδο δυσκολίας της διαδικασίας ψηφιοποίησης μεταβάλλεται ανάλογα με το αντικείμενο που αποτυπώνεται. Το σύστημα ψηφιοποίησης είναι ο βασικός καταλύτης που καθορίζει τη διάρκεια της ψηφιοποίησης αλλά και την απαιτούμενη ανθρώπινη προσπάθεια. Είναι σημαντικό, ο χειριστής του συστήματος ψηφιοποίησης να μπορεί να το χρησιμοποιήσει εύκολα και απρόσκοπτα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η σύγκριση ανάμεσα σε συστήματα τριγωνισμού λέιζερ που βασίζονται σε χειροκίνητους βραχίονες και σε άλλα που ανιχνεύουν τη θέση τους στο χώρο κάνοντας χρήση ραδιοκυμάτων. Ενώ τα πρώτα απαιτούν ακόμα και μυϊκές ικανότητες για το χειρισμό τους, τα πιο σύγχρονα, με διαστάσεις λίγο μεγαλύτερες από το μέγεθος μιας ανθρώπινης παλάμης επιτρέπουν τη συλλογή δεδομένων με τρόπο παρόμοιο με αυτό της χρήσης ενός πινέλου.

### 3.2.3 Αριθμός σαρώσεων

Το πλήθος των τμηματικών σαρώσεων ορίζεται από το οπτικό πεδίο ή τον ωφέλιμο όγκο ανίχνευσης ενός συστήματος ψηφιοποίησης. Όσο μεγαλύτερο είναι το οπτικό πεδίο του συστήματος τόσο λιγότερες τμηματικές σαρώσεις απαιτούνται. Το εύρος του βάθους πεδίου σε συνδυασμό με το εύρος του οπτικού πεδίου επιτρέπουν την αποδοτικότερη αποτύπωση ακόμη και δύσκολων σημείων, τα οποία απαιτούν τη μεταβολή εστίασης της ακτίνας φωτός λέιζερ λόγω της θέσης τους, όπως και όλων των σημεία των επιφανειών με υψηλές γεωμετρικές μεταβολές που προκαλούν διάχυση στη δέσμη φωτός και απαιτούν τη μεταβολή της ισχύος της δέσμης, ώστε να σαρωθούν χωρίς θόρυβο.

### 3.2.4 Βαθμονόμηση (calibration)

Συστήματα που απαιτούν βαθμονόμηση κάθε φορά που μεταβάλλεται η θέση τους στο χώρο δεν προτείνονται, καθώς η διάρκεια της διαδικασίας συλλογής δεδομένων αυξάνεται δραματικά. Η αύξηση του χρόνου υπολογίζεται από το γινόμενο του χρόνου διαδικασίας βαθμονόμησης επί το πλήθος των διαφορετικών θέσεων που θα λάβει ο σαρωτής. Υπάρχουν συστήματα που ο χρόνος βαθμονόμησης μπορεί να ξεπερνάει ακόμα και τη μία ώρα. Η διαδικασία βαθμονόμησης των συστημάτων καθορίζει την πιστότητα των 3D ψηφιακών αντιγράφων. Συνήθως προτιμώνται συστήματα των οποίων η βαθμονόμηση υλοποιείται μία φορά και εφαρμόζεται σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος αντικείμενων με διαφορετικές διαστάσεις. Φυσικά, προτείνονται συστήματα με αυτοματοποιημένη τη διαδικασία βαθμονόμησης.

### 3.2.5 Απαραίτητο λογισμικό

Σε κάποιες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η προμήθεια λογισμικού για την επεξεργασία και διαχείριση των 3D ψηφιακών αντιγράφων. Αυτό το λογισμικό αποτελεί επιπρόσθετο κόστος για ένα έργο ψηφιοποίησης. Πολλά συστήματα συνοδεύονται από λογισμικό αμφιβόλου ποιότητας και λειτουργικότητας. Είναι πολύ πιθανό το λογισμικό που συνοδεύει ένα σύστημα να μην καλύπτει τις ανάγκες ενός έργου στο σύνολο τους. Προσπάθειες έχουν γίνει από πλήθος κατασκευαστών, ώστε να παρέχουν έστω κάποιους

από τους πρωταρχικούς αλγόριθμους επεξεργασίας δεδομένων. Το φιλικό γραφικό περιβάλλον ενός λογισμικού σε συνδυασμό με τη λειτουργικότητά του, τη σταθερότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων του, συμβάλουν στη μείωση του χρόνου επεξεργασίας αλλά και στην αμεσότερη δημιουργία των τελικών αποτελεσμάτων. Με τον αντίστοιχο τρόπο που εξετάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος για να εξακριβωθεί αν αυτά καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες ενός έργου, θα πρέπει να εξασφαλισθεί και η λειτουργικότητα του συνοδευτικού λογισμικού.

### 3.2.6 Σύνοψη

Σε κάθε περίπτωση, τα βασικότερα κριτήρια για την επιλογή ενός συστήματος 3D ψηφιοποίησης προκύπτουν από τις ανάγκες του ίδιου του έργου. Τα βασικότερα κριτήρια επιλογής ενός συστήματος 3D ψηφιοποίησης, χωρίς να μπορούν να χαρακτηριστούν ως τα μοναδικά, είναι τα εξής:

- Οπτικό πεδίο σάρωσης και ταχύτητα αποτύπωσης
- Ακρίβεια αποτύπωσης 3D γεωμετρίας
- Ανάλυση αποτύπωσης 3D γεωμετρίας
- Δυνατότητα αποτύπωσης πληροφορίας υψής και χαρακτηριστικών επιφάνειας
- Ακρίβεια αντιστοίχισης γεωμετρικής και χρωματικής πληροφορίας
- Βαθμός φιλικότητας προς το χειριστή του συστήματος
- Διαδικασία βαθμονόμησης και ανάγκη επανάληψής της
- Απαιτούμενες συνθήκες για την ορθή λειτουργία του συστήματος
- Μέσος συνολικός χρόνος αποτύπωσης ενός αντικειμένου
- Μέσος συνολικός χρόνος επεξεργασίας του 3D αντιγράφου
- Ανάγκη επιπρόσθετου λογισμικού επεξεργασίας δεδομένων
- Φορητότητα συστήματος
- Υπολογιστικές απαιτήσεις για τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων

- Υποστηριζόμενοι μορφότευποι αρχείων 3Δ δεδομένων
- Προσωπικό που απαιτείται κατά τη διαδικασία αποτύπωσης
- Απαιτήσεις για τη μεταφορά και αλλαγής θέσης των αντικειμένων
- Επιπρόσθετος εξοπλισμός που απαιτείται επί τόπου
- Απόδοση του συστήματος ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων
- Μέσος συνολικός χρόνος εγκατάστασης και τοποθέτησης
- Αντιμετώπιση πιθανών προκλήσεων εφαρμογής της διαδικασίας συλλογής δεδομένων
- Κόστος συστήματος και περιφερειακών του
- Εγγύηση ορθής λειτουργίας του συστήματος ψηφιοποίησης
- Προαιρετικός εξοπλισμός του συστήματος ψηφιοποίησης
- Δυνατότητες παραμετροποίησης του συστήματος

### 3.3 Ροή εργασιών δεδομένων 3Δ ψηφιοποίησης

Τα βήματα της διαδικασίας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ως ένα γενικευμένο διάγραμμα ροής εργασιών που μεταβάλλεται ανάλογα με την υιοθετημένη κάθε φορά μέθοδο 3Δ αποτύπωσης. Γενικά, τα βήματα μιας διαδικασίας ψηφιοποίησης (με παραλλαγές ανάλογα με τον τρόπο και εξοπλισμό της ψηφιοποίησης) είναι τα εξής:

1. Συλλογή δεδομένων
2. Προ-επεξεργασία δεδομένων
3. Απαλοιφή θορύβου
4. Ομαδοποίηση και οργάνωση των δεδομένων
5. Ευθυγράμμιση και ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων (registration)
6. Δημιουργία πολυγωνικών πλεγματοσειρών

7. Απλοποίηση πλεγματοσειρών - διαφορετικές αναλύσεις

8. Δημιουργία υφής

Αναλυτικά, αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

### **3.3.1 Συλλογή δεδομένων**

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία αποτύπωσης είναι η συλλογή των δεδομένων με κάποια ή κάποιες από τις μεθόδους ψηφιοποίησης. Ο τρόπος εκτέλεσης της συγκεκριμένης διαδικασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο της μεθόδου αλλά και τις τεχνικές προδιαγραφές (πχ. ταχύτητα αποτύπωσης, φορητότητα, κοκ). Οποιαδήποτε και αν είναι, όμως, η μέθοδος ψηφιοποίησης που θα εφαρμοσθεί, η διαδικασία καταλήγει σχεδόν πάντα σε μια σειρά από τμηματικές σαρώσεις. Οι πολλαπλές σαρώσεις οφείλονται στο γεγονός ότι τα περισσότερα συστήματα σάρωσης απαιτούν την αποτύπωση δεδομένων από διαφορετικές γωνίες θέασης, έτσι, ώστε να καλύψουν όλες τις επιφάνειες του αντικειμένου.

Συνηθισμένη πρακτική που έχει προαναφερθεί και βρίσκει εφαρμογή σε κινητά αντικείμενα είναι η χρήση ενός περιστρεφόμενου τραπεζιού, το οποίο συνεργάζεται με το λογισμικό και του επιτρέπει να γνωρίζει τις θέσεις των τμηματικών σαρώσεων. Σε κάποιες περιπτώσεις, το λογισμικό του συστήματος ελέγχει και ένα σύνολο από φωτιστικά σώματα που σκοπό έχουν να δημιουργήσουν τις κατάλληλες συνθήκες φωτισμού για τη βέλτιστη αποτύπωση των δεδομένων επιφανειακής υφής του αντικειμένου.

Τις περισσότερες φορές ένα 3D ψηφιακό αντίγραφο περιέχει σπές στην επιφάνειά του λόγω αδυναμίας άμεσης οπτικής επαφής του οπτικού συστήματος με συγκεκριμένες περιοχές της επιφάνειας του αντικειμένου. Συχνά επίσης, παρουσιάζεται το φαινόμενο της διαφορετικής πυκνότητας σάρωσης σε διαφορετικές περιοχές της επιφάνειας που οφείλεται στην ανάγκη αλλαγής της θέσης ή των ρυθμίσεων του συστήματος, ώστε να αποδίδει καλύτερα προσαρμοζόμενη στην πολυπλοκότητα του μετρούμενου αντικειμένου. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο συνηθισμένο σε σαρωτές μεγάλου βεληνεκούς που χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στην αποτύπωση μνημείων και κτηρίων, αλλά και στα

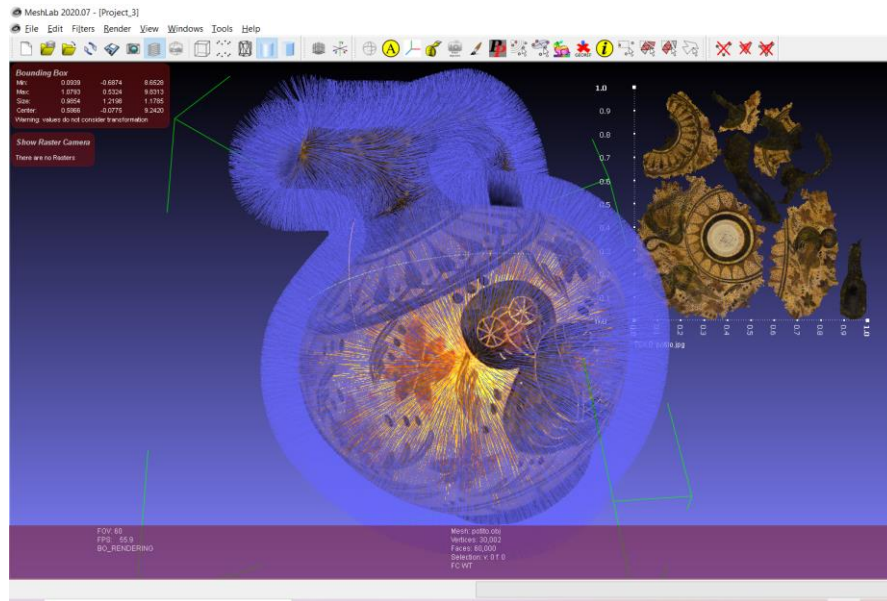
συστήματα φωτογραμμετρίας. Ο αυτόματος καθορισμός των βέλτιστων γωνιών θέασης για ψηφιοποίηση είναι επίσης μία πρόκληση. Η απλούστερη προσέγγιση στην αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης είναι ο χειροκίνητος εντοπισμών των γωνιών θέασης. Η ψηφιοποίηση θα πρέπει να πραγματοποιείται έχοντας πάντα υπόψη την ελαχιστοποίηση του πλήθους των σαρώσεων αλλά και την εξασφάλιση ύπαρξης ενός μεγάλου ποσοστού επικαλυπτόμενων σημείων ανάμεσα στις διαφορετικές σαρώσεις. Σημαντική είναι επίσης και η γωνία ανάμεσα στις μεγάλες επίπεδες επιφάνειες ενός αντικειμένου και του αισθητηρίου του συστήματος ψηφιοποίησης.

Στην περίπτωση εργασιών ψηφιοποίησης πολιτιστικού αποθέματος είναι πολλοί οι λόγοι που οδηγούν στην πραγματοποίηση συλλογής δεδομένων με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Οι λόγοι για τους οποίους, στη συγκεκριμένη περίπτωση, αναζητείται η μέγιστη ακρίβεια και ανάλυση στις μετρήσεις είναι πολλοί και σχετίζονται τόσο με την μοναδικότητα και αξία του αντικειμένου όσο και με την περιορισμένη συνήθως πρόσβαση που υπάρχει σε αυτό. Ακόμη και αν ο όγκος των δεδομένων που συλλέγονται είναι τέτοιος που καθιστά πρακτικά αδύνατο το να χρησιμοποιηθούν όλα τα δεδομένα μετρήσεων με την τρέχουσα υπολογιστική στάθμη της εποχής, αυτό μπορεί γρήγορα να αντιμετωπιστεί με τις διαρκείς εξελίξεις της τεχνολογίας.

### **3.3.2 Προ-επεξεργασία δεδομένων**

Η διαδικασία της προ-επεξεργασίας πραγματοποιείται αμέσως μετά την αποτύπωση των δεδομένων γεωμετρίας και περιλαμβάνει ένα σύνολο από μερικώς ασυσχέτιστες εργασίες. Είναι μια διαδικασία που απαντάται συχνά σε εμπορικά συστήματα ως ενσωματωμένη μέσα στη διαδικασία δημιουργίας πολυγωνικών πλεγμάτων. Ο υπολογισμός των πινάκων καθέτων μοναδιαίων διανυσμάτων (normal vectors) είναι μια από αυτές, κατά την οποία χρησιμοποιείται η γεωμετρική πληροφορία της σάρωσης για να αναγνωριστεί η φορά των διανυσμάτων αυτών (αναγνώριση της μέσα και της έξω όψης κάθε επιφάνειας) για κάθε σημείο (βλ. Εικόνα 17). Αυτή είναι πολύ σημαντική πληροφορία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργότερα για την ορθή οπτική αναπαράσταση του αντικειμένου, την ενοποίηση τμημάτων αλλά και την κατάτμηση και ανάλυση των δεδομένων.



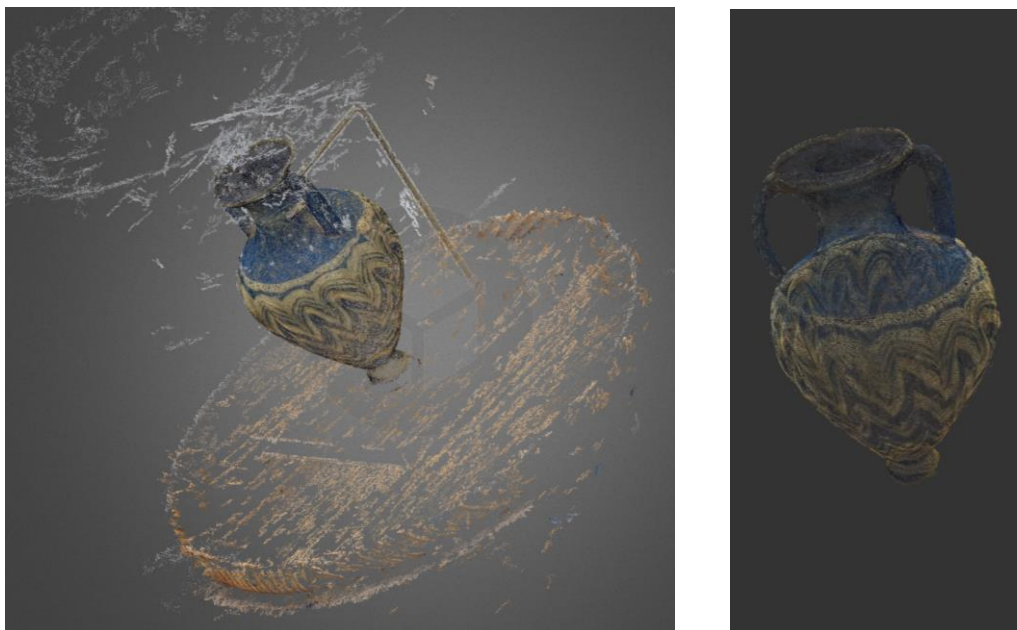


Εικόνα 3. Κάθετα διανύσματα σε επιφάνεια πλέγματος.

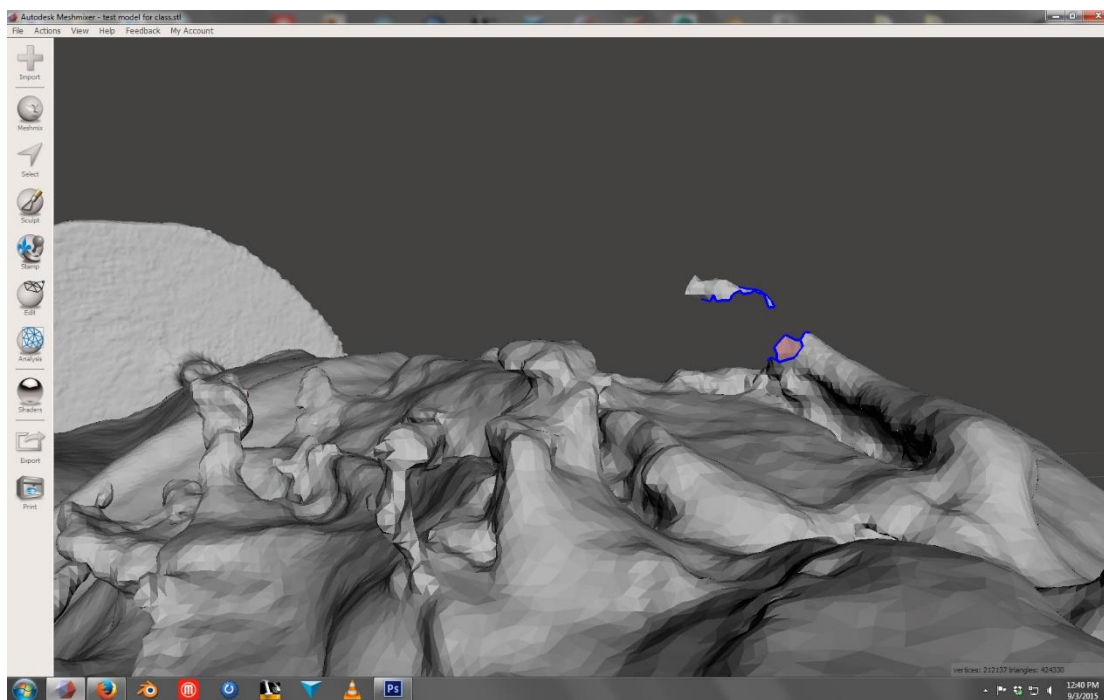
### 3.3.3 Απαλοιφή θορύβου

Τα δεδομένα που προκύπτουν από την 3D ψηφιοποίηση περιέχουν, συνήθως, σφάλματα εξαιτίας της ύπαρξης θορύβου στις μετρήσεις. Ο θόρυβος εμφανίζεται με τη μορφή τυχαίας μετατόπισης σημείων γύρω από την πραγματική επιφάνεια του αντικειμένου. Μια απλοϊκή μέθοδος που επιτρέπει την απαλοιφή του θορύβου είναι ο υπολογισμός του μέσου όρου θέσης των σημείων ανάμεσα σε επικαλυπτόμενες σαρώσεις. Άλλη μια τεχνική βασίζεται στην υποδειγματοληψία των σημείων του νέφους που πραγματοποιείται βάσει μιας εκτίμησης της επιφάνειας του αντικειμένου. Ένα πλήθος αλγορίθμων που προέρχονται από το χώρο της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ομαλοποίηση των δεδομένων του νέφους. Οι απλοί γραμμικοί αλγόριθμοι (πχ. Gaussian smoothing) έχουν το μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να διαχωρίζουν το θόρυβο από δεδομένα υψηλής συχνότητας. Έτσι καταλήγουν να ομαλοποιούν τις άκρες και τις λεπτομέρειες των αντικειμένων. Γενικότερα, μη-γραμμικοί αλγόριθμοι είναι καταλληλότεροι για αφαίρεση του θορύβου (Pavlidis et al.,2004). Επιπλέον, λογισμικά που συνοδεύουν σαρωτές, έχουν εγκατεστημένες ρουτίνες αφαίρεσης

θορύβου ή ομαλοποίησης επιφανειών, ενώ δίνεται η δυνατότητα και για χειροκίνητη (manual) διόρθωση από τον χρήστη (βλ. Εικόνες 18, 19 και 20).

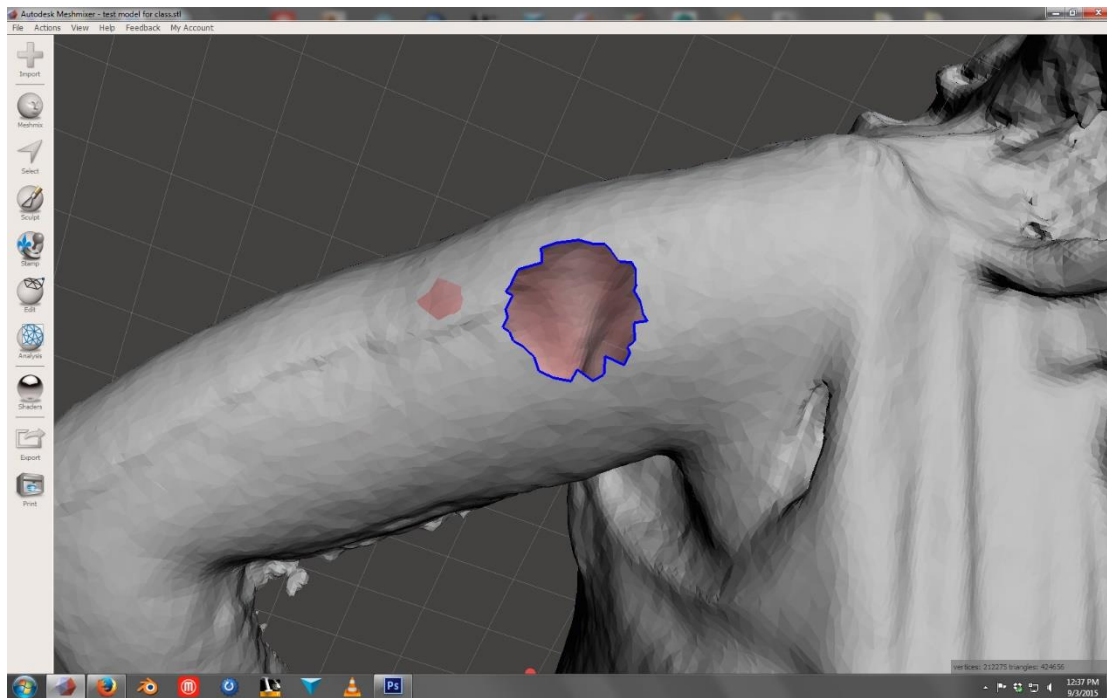


Εικόνα 4. Αρχική σάρωση αμφορίσκου και τελικό μοντέλο μετά την αποκοπή του θορύβου.



Εικόνα 5. Απομόνωση περιοχής σφάλματος (ασύνδετες ακμές και επιφάνεια).





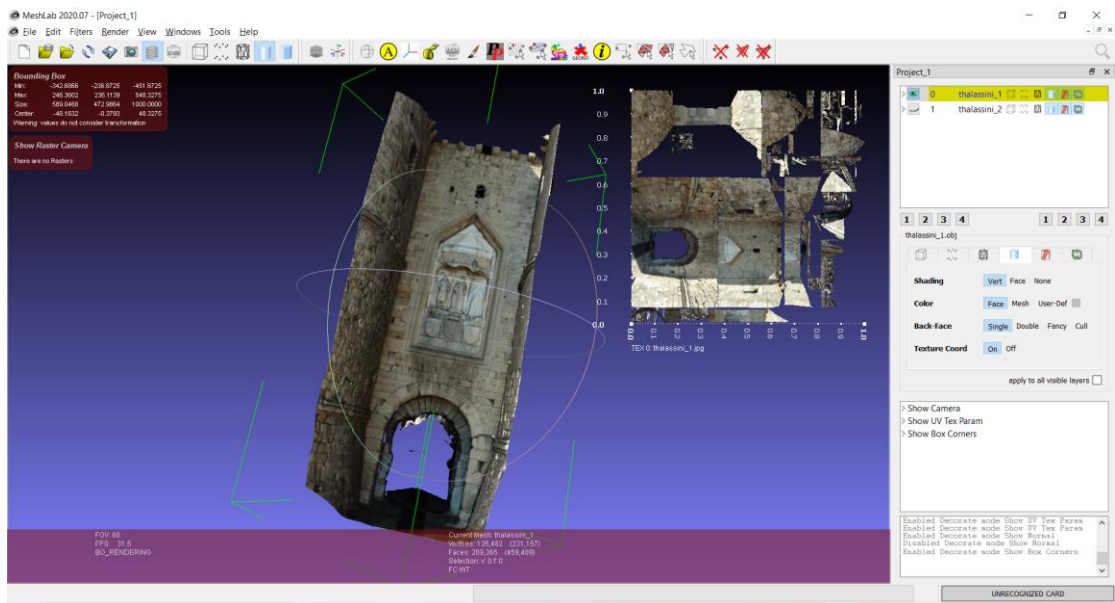
Εικόνα 6. Εντοπισμός οπής σε πλέγμα προς εξομάλυνση και «γέμισμα».

### 3.3.4 Ομαδοποίηση και οργάνωση των δεδομένων

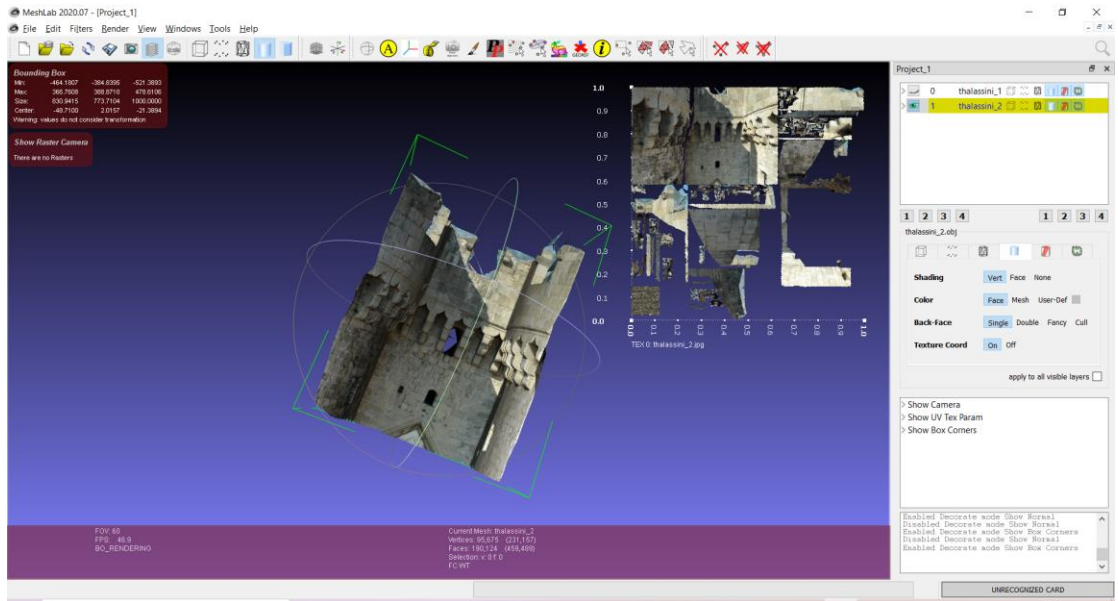
Η διαχείριση του μεγάλου όγκου δεδομένων που παράγουν οι σαρωτές είναι μια από τις βασικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα υπολογιστικά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Ο όγκος των δεδομένων οδηγεί τα υπολογιστικά συστήματα στα όρια λειτουργίας τους, ιδιαίτερα όταν απαιτείται αλληλεπίδραση με το χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Η διαδικασία της ομαδοποίησης των δεδομένων αποτελεί μια λύση στο πρόβλημα. Ειδικές δομές δεδομένων (οκταδικά και δυαδικά δέντρα) οργανώνουν με τέτοιο τρόπο τα δεδομένα, ώστε η προσπέλαση τους να γίνεται έξυπνα και γρήγορα ανάλογα με την οπτική γωνία υπό την οποία εμφανίζεται το αντικείμενο. Οι δομές αυτές επιτρέπουν την τμηματική ανάγνωση και οπτικοποίηση των δεδομένων και προσφέρουν τη δυνατότητα επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο χωρίς την απαίτηση ταυτόχρονης προσπέλασης του συνολικού όγκου δεδομένων.

### 3.3.5 Ευθυγράμμιση και ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων (registration)

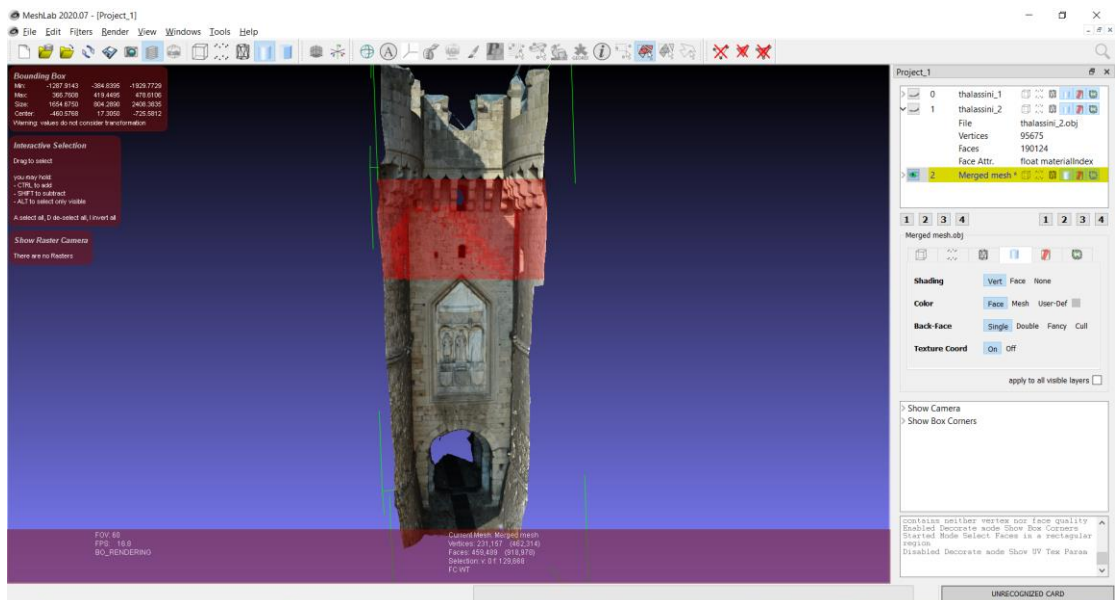
Είναι μια εξαιρετικά σημαντική διαδικασία, καθώς ως επί το πλείστον, απαιτείται πλήθος 3D ή 2D σαρώσεων για την κάλυψη ενός αντικειμένου (ακόμα και μικρού) ή ενός χώρου ή ενός μνημείου γενικότερα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, λόγω τεχνολογικών και φυσικών περιορισμών, είναι αδύνατη η 3D καταγραφή ενός αντικειμένου μέσω ενός μοναδικού 3D νέφους σημείων και με μια μόνο 3D καταγραφή. Αυτό συμβαίνει είτε γιατί το είδος της τεχνολογίας πρόσκτησης είναι τέτοιο που απαιτεί την σταδιακή/αποσπασματική καταγραφή του αντικειμένου, είτε γιατί η κλίμακα του αντικειμένου είναι μεγάλη ώστε να απαιτεί πολλαπλές 3D καταγραφές νεφών σημείων. Σε όλες τις περιπτώσεις, η 3D καταγραφή του αντικειμένου γίνεται αποσπασματικά και αυτό έχει αποτέλεσμα το εκάστοτε αντικείμενο να περιγράφεται όχι από ένα ενιαίο 3D νέφος σημείων, αλλά από δύο ή και περισσότερα 3D νέφη σημείων (Εικόνες 21-23). Αυτά τα νέφη θα πρέπει να ευθυγραμμιστούν κατάλληλα και να συνενωθούν σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων, ώστε να προκύψει το ενιαίο 3D νέφος σημείων.



Εικόνα 7. Νέφος σημείων 1 (πρώτη λήψη).



Εικόνα 8. Νέφος σημείων 2 (δεύτερη λήψη).



Εικόνα 9. Συνένωση νεφών σημείων 1 και 2. Δύο διαφορετικές μερικώς αλληλεπικαλυπτόμενες καταγραφές του ίδιου αντικείμενου με διαφορετικό προσανατολισμό και (ενδεχομένως) κλίμακα, ταυτοποιούνται/συνενώνονται ώστε να προκύψει μια ενιαία καταγραφή νέφους σημείων.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να είναι εξ ολοκλήρου αυτοματοποιημένη, εάν είναι γνωστή η θέση του συστήματος ψηφιοποίησης σε κάθε τμηματική σάρωση. Όταν κάτι τέτοιο δεν ισχύει, η διαδικασία πρέπει να γίνει, αρχικά τουλάχιστον, χειροκίνητα. Ο χρήστης τοποθετεί με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού τις τμηματικές σαρώσεις (νέφη

σημείων) σε κάποιες αρχικές θέσεις, οι οποίες βελτιώνονται αυτόματα με επαναληπτική διαδικασία. Ο χρήστης συνήθως ορίζει κάποια κοινά (ομόλογα) σημεία πάνω στα νέφη σημείων των τμηματικών σαρώσεων σε περιοχές που παρουσιάσουν επικαλύψεις, τα οποία χρησιμοποιούνται στη συνέχεια ως οδηγοί για την ευθυγράμμιση. Ωστόσο, τα περισσότερα συστήματα βασίζονται αρχικά στην ανθρώπινη παρέμβαση. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί εύχρηστα διαδραστικά εργαλεία που υποβοηθούν με τη δυνατότητα άμεσης επιλογής χαρακτηριστικών ομόλογων σημείων στις τμηματικές σαρώσεις. Η χειροκίνητη ευθυγράμμιση απαιτεί αρκετό χρόνο, ίσως τον περισσότερο από όλα τα υπόλοιπα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων. Όταν το πλήθος των τμηματικών σαρώσεων αγγίζει τις αρκετές δεκάδες τότε η ευθυγράμμιση θα πρέπει να γίνεται σε επίπεδο ομάδων. Οι ομάδες αυτές ορίζονται συνήθως από το χρήστη. Γενικά, η ευθυγράμμιση τμηματικών σαρώσεων πραγματοποιείται ευκολότερα σε κλειστά αντικείμενα (όπως ένα αγγείο ή ένα αγαλματίδιο) από ότι σε ανοικτά (μια μαρμάρινη ανάγλυφη διακόσμηση).

Το πρόβλημα της συνένωσης πολλαπλών 3D νεφών σημείων που περιγράφουν το ίδιο 3D αντικείμενο είναι γνωστό και ως πρόβλημα ταυτοποίησης 3D νεφών σημείων (3D point cloud registration matching). Η λύση του προϋποθέτει την εύρεση ενός μετασχηματισμού που όταν επιβληθεί στο ένα 3D νέφος σημείων, θα το ευθυγραμμίσει με το άλλο. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο προς αναζήτηση μετασχηματισμός, αφορά κυρίως σε άκαμπτους μετασχηματισμούς (rigid transformations), αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις αλγορίθμων που επιλύουν το πρόβλημα της ταυτοποίησης νεφών σημείων μέσω αναζήτησης γενικευμένων αφινικών μετασχηματισμών (affine transformations) (Tam et al., 2013).

Μόλις εντοπιστούν οι μετασχηματισμοί που προκαλούν την αρχική αδρή σύνθεση/συνένωση δύο 3D νεφών σημείων, τότε ενεργοποιείται ένα επαναληπτικός αλγόριθμος για την ακριβή τους συνένωση. Ο επαναληπτικός αλγόριθμος πλησιέστερου σημείου (Iterative closest point ή ICP) έχει γίνει από όλους αποδεκτός ως η πλέον χρήσιμη μέθοδος για την ακριβή ενοποίηση τμηματικών σαρώσεων. Η πρώτη περιγραφή του αλγορίθμου έγινε από τους Besl and McKay (1992). Ο αλγόριθμος λειτουργεί σε δύο

διακριτά βήματα: (α) αναγνώριση αντίστοιχων (ή ομόλογων) σημείων, (β) εκτίμηση του χωρικού μετασχηματισμού που θα ελαχιστοποιήσει την απόσταση ανάμεσα τους. Η εκτέλεση των δύο αυτών βημάτων επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό συνταίριασμα (μικρότερο δυνατό σφάλμα). Ωστόσο, βασικό του μειονέκτημα είναι η αστάθεια που παρουσιάζει σε ομαλές επιφάνειες. Άλλες μέθοδοι ευθυγράμμισης βασίζονται σε κάποια ειδικά αντικείμενα ελέγχου (πχ. σφαίρες, κύλινδροι και επίπεδα). Τα αντικείμενα ελέγχου τοποθετούνται γύρω από το αντικείμενο προς ψηφιοποίηση πριν τη συλλογή δεδομένων και ψηφιοποιούνται μαζί με το αντικείμενο. Καθώς είναι γνωστής γεωμετρίας μπορούν να αναγνωριστούν αυτόματα και συνεπώς να βοηθήσουν την ευθυγράμμιση των τμηματικών σαρώσεων (Sgrenzaroli and Wolfart, 2002). Το μειονέκτημα στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι πως σε κάθε σάρωση θα πρέπει να εμφανίζονται κάποια (σε κάποιες περιπτώσεις τουλάχιστον τρία) από τα αντικείμενα ελέγχου.

Μετά την ευθυγράμμιση των τμηματικών σαρώσεων, σειρά έχει η συγχώνευση και ενοποίησή τους. Είναι η πλέον απαιτητική διαδικασία σε επίπεδο υπολογιστικών πόρων. Πολλές φορές οι ίδιοι οι κατασκευαστές προτείνουν τον έλεγχο των διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων, αφού ο όγκος των δεδομένων υπερβαίνει κατά πολύ τη διαθέσιμη μνήμη ενός μέσου υπολογιστικού συστήματος. Κατά τη διαδικασία ενοποίησης αφαιρούνται, επίσης, τα πλεονάζοντα σημεία στα επικαλυπτόμενα τμήματα των σαρώσεων. Η ενοποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικά επίπεδα:

- Σε επίπεδο σημείων, αμέσως μετά την ευθυγράμμιση των τμημάτων: εξετάζεται εάν κάποιο σημείο μιας σάρωσης εμφανίζεται και σε κάποια άλλη σάρωση και δεν λαμβάνεται πλέον υπόψη.
- Σε επίπεδο περιοχής ή αντικειμένου: καθώς τα δεδομένα μοντελοποιούνται, τα τμήματα που αναγνωρίζονται ως κοινά συγχωνεύονται.

Η μοντελοποίηση πάνω στο 3D νέφος σημείων είναι δύσκολη και απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ (Παυλίδης, 2019).

Όμως, στους μοντέρνους 3D σαρωτές, υπολογίζεται αυτόματα η μετακίνησή τους και η συστροφή τους σε σχέση με τα σημεία σάρωσης, οπότε μέσω ενσωματωμένων (build-

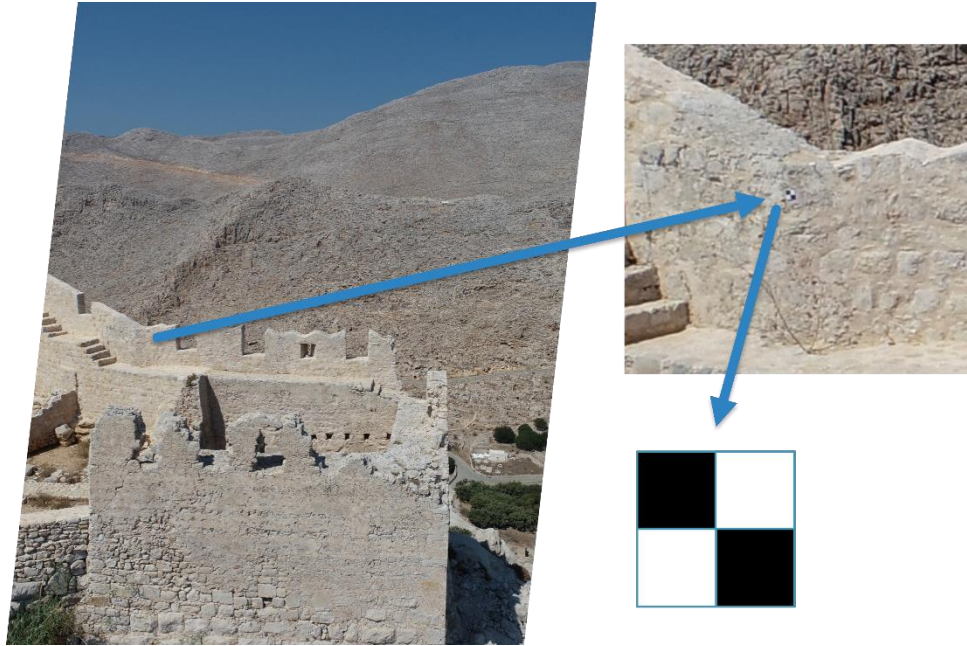


in) αλγορίθμων που κυρίως βασίζονται σε παραλλαγές του ICP, πραγματοποιείται με σχεδόν αυτόματο τρόπο, η συνένωση/ευθυγράμμιση των σαρώσεων.

Ενίοτε, η διαδικασία βελτιστοποιείται και υποβοηθείται με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού (αντανακλαστικές σφαίρες ή στόχοι ή φωτοσταθερά) που παραμένουν σταθεροί κατά τη διάρκεια της αποτύπωσης, ώστε να είναι ενδεικτικά σημεία για την ευθυγράμμιση των λήψεων/σαρώσεων, είτε αυτή γίνει αυτόματα, είτε με υποβοήθηση από τον χρήστη (Εικόνες 24 και 25).



*Εικόνα 10. Ανακλαστικές σφαίρες όπως αποτυπώθηκαν σε μια 3Δ αποτύπωση με επίγειο σαρωτή (σημειώνονται με κόκκινο κύκλο).*



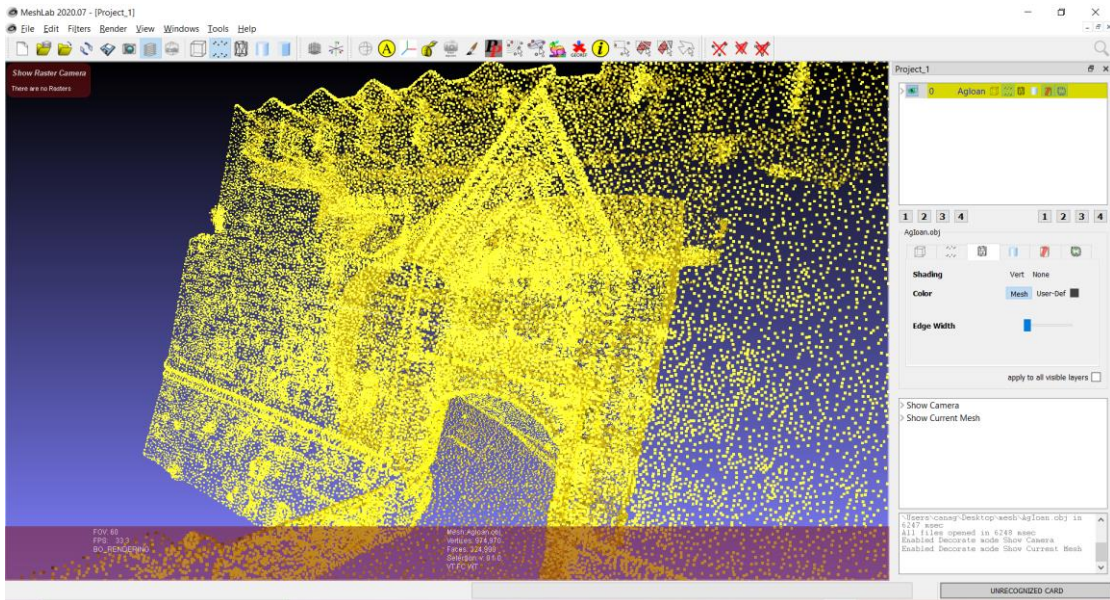
Εικόνα 11. Τοποθέτηση στόχου-σκακιέρα (φωτοσταθερά) σε έργο αεροφωτογραμμετρίας.

### 3.3.6 Δημιουργία πολυγωνικών πλεγματοσειρών

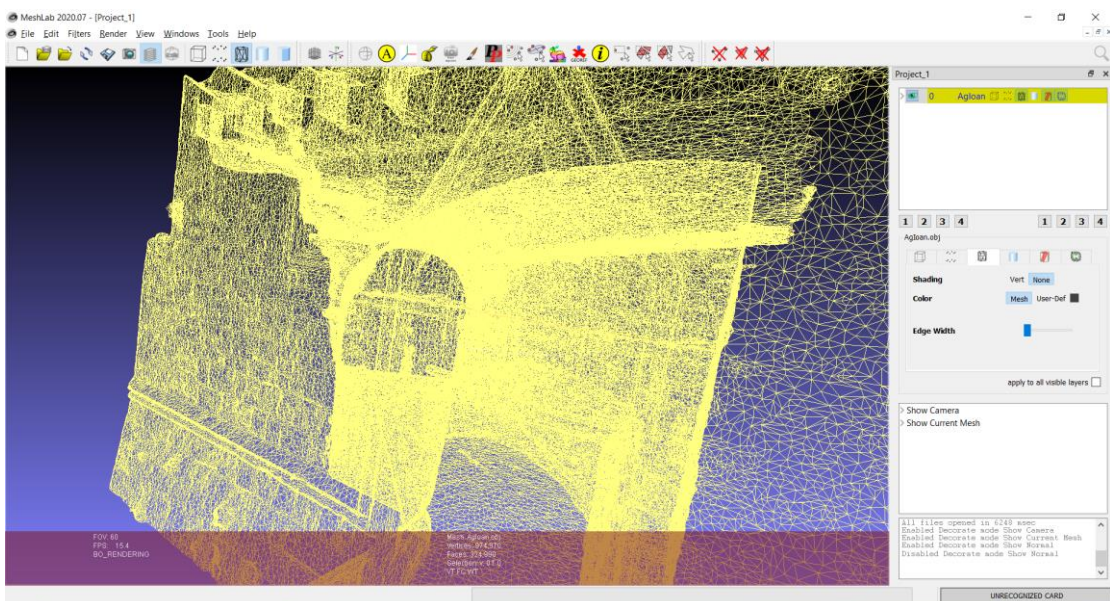
Η διαδικασία της δημιουργίας πλεγματοσειράς από το νέφος σημείων είναι η πλέον κοινή διαδικασία στον τομέα της 3D ψηφιοποίησης, καθώς η δημιουργία ενός 3D μοντέλου που περιγράφεται από πλεγματοσειρά είναι συνήθως το βασικό ζητούμενο παράγωγο ενός έργου ψηφιοποίησης. Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι πολυγωνοποίησης που έχουν ως κοινό στόχο τη μετατροπή ενός νέφους σημείων σε μια συνεχόμενη επιφάνεια από πολύγωνα. Η πολυγωνική πλεγματοσειρά αποτελεί μια από τις πλέον «διαισθητικές» οπτικοποιήσεις ενός 3D ψηφιακού αντιγράφου, ιδιαίτερα όταν εφαρμοστεί πάνω της η πληροφορία υψής. Σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης πλεγματοσειρών είναι η σημαντική μείωση του όγκου δεδομένων που απαιτείται για την περιγραφή της 3D γεωμετρίας. Η πλεγματοσειρά επιτρέπει τη διαδραστική μελέτη του 3D αντικείμενου για εξαγωγή διαστάσεων, ορθογραφικών φωτογραφιών, κ.ο.κ. Ορισμένοι αλγόριθμοι υπολογίζουν το πλέγμα προοδευτικά, βασιζόμενοι στην πληροφορία που παρέχουν τα γειτονικά σημεία του νέφους (Bernardini et al., 1999). Άλλοι, πιο πολύπλοκοι, αποφασίζουν και για την ανάλυση της πλεγματοσειράς σε κάθε περιοχή ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των επιφανειών που δημιουργούν (δείκτης πολυπλοκότητας περιοχής, καμπυλότητα



επιφάνειας, κα.). Σημαντική πρόκληση και εδώ αποτελεί ο θόρυβος που έχει καταφέρει να διαφύγει από το αρχικό φιλτράρισμα του νέφους και επιδρά πολύ έντονα στις επιφάνειες μιας πλεγματοσειράς οδηγώντας σε γεωμετρικές παραμορφώσεις



Εικόνα 12. Νέφος Σημείων (από καταγραφή πύλης μεσαιωνικών οχυρώσεων).



Εικόνα 13. Δημιουργία πλέγματος από νέφος σημείων.



### 3.3.7 Απλοποίηση πλεγματοσειράς - διαφορετικές αναλύσεις

Με την εφαρμογή ενός αλγορίθμου απλοποίησης, η απώλεια πληροφορίας είναι, προφανώς, αναπόφευκτη. Όμως οι σύγχρονοι αλγόριθμοι απλοποίησης γεωμετρίας αναγνωρίζουν αυτόματα τα τμήματα ενός 3D ψηφιακού αντιγράφου που μπορούν να υποστούν απλοποίηση χωρίς να υποβαθμιστεί σημαντικά η ποιότητα τους και να επιτυγχάνουν ένα πολύ καλό αποτέλεσμα, διατηρώντας τα βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου αναλλοίωτα. Η απλοποίηση πλέγματος επιφάνειας (ή αλλιώς και remeshing) είναι λοιπόν η διαδικασία μείωσης του αριθμού των επιφανειών που χρησιμοποιούνται σε ένα πλέγμα επιφάνειας, διατηρώντας παράλληλα όσο το δυνατόν περισσότερο το συνολικό σχήμα, τον όγκο και τα όρια. Ο αλγόριθμος τερματίζεται όταν πληρείται μια συνθήκη διακοπής που παρέχεται από τον χρήστη, όπως για παράδειγμα η επίτευξη του επιθυμητού αριθμού ακμών.

Διακρίνονται δε, σε 3 κύριες κατηγορίες ανάλογα με την διαδικασία υπολογισμού του νέου πλέγματος (P. Cignoni et al 1997):

- Αποδεκατισμό κορυφών (Vertex Decimation Process - VDP)
- Αποδεκατισμό ακμών (Edge Collapse Process - ECP)
- Αποδεκατισμό Όψεων (Face Constriction Process – FCP)

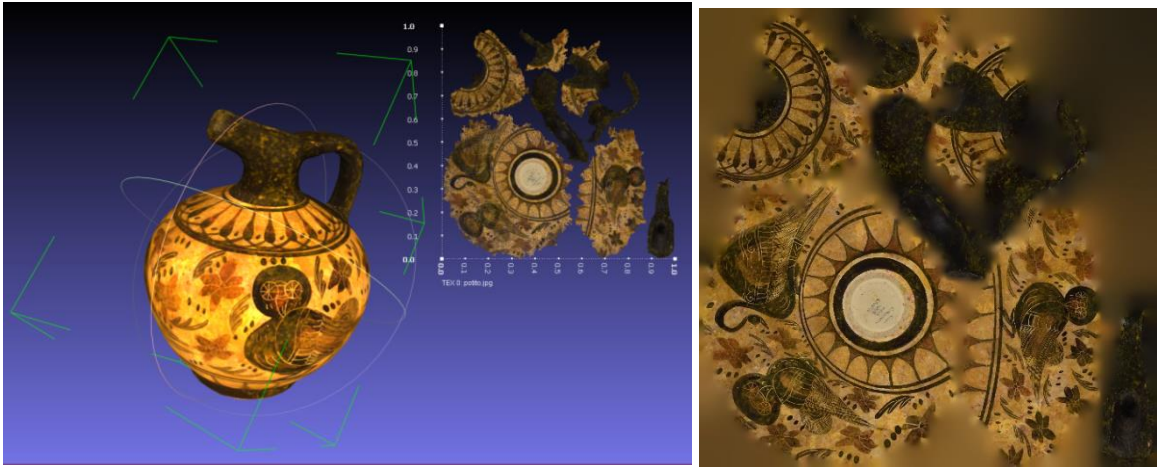
Οι σύγχρονοι σαρωτές έχουν λογισμικά που μπορεί να προκαλεί απλοποίηση πλέγματος διατηρώντας καλύτερη δειγματοληψία (αριθμό πολυγώνων) στα μέρη του πλέγματος με μεγαλύτερη συγκέντρωση πληροφορίας (περιοχές υψηλών συχνοτήτων). Λογισμικά όπως το Meshlab, CloudCompare (freeware), αλλά και τα λογισμικά που συνοδεύουν τους 3D σαρωτές (φορητούς ή επίγειους) έχουν ενσωματωμένους αλγόριθμους που έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία (Alliez et al, 2008), οπότε ο χρήστης είναι δυνατόν να επιλέξει επιθυμητή ανάλυση μοντέλου και να λάβει το τροποποιημένο μοντέλο.

### 3.3.8 Δημιουργία υφής

Σε εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής, η χρωματική πληροφορία των αντικειμένων που ψηφιοποιούνται δεν είναι απαραίτητη και ίσως αποτελεί κάποιες φορές πλεονασμό. Κάτι τέτοιο βέβαια έρχεται σε αντίθεση με τις ανάγκες ψηφιοποίησης σε άλλες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα σε αυτές στο χώρο του πολιτισμού. Η πληροφορία υφής προσδίδει στο αντικείμενο ακρίβεια αποτύπωσης αλλά και φωτορεαλισμό. Μεγάλο τμήμα της πληροφορίας που φέρουν τα αντικείμενα βρίσκεται αποτυπωμένο στην υφή τους. Πολλές είναι οι περιπτώσεις, στις οποίες η διακόσμηση ενός αγγείου φέρει ζωτικής σημασίας πληροφορία τεκμηρίωσης για έναν αρχαιολόγο.

Η συνθετική απόδοση της όψης ενός αντικειμένου είναι ένα από τα τελευταία στάδια της διαδικασίας ψηφιοποίησης. Πολλές εφαρμοσμένες τεχνικές προβάλουν φωτογραφίες πάνω στη γεωμετρία του αντικειμένου για να δημιουργήσουν τους λεγόμενους χάρτες υφής (texture maps), όπως γραφικά απεικονίζεται στην Εικόνα 28.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το πρόβλημα των οπών ή γενικά των ασυνεχειών υπάρχει και στην περίπτωση της υφής και απαιτείται μέθοδος ανακατασκευής της πληροφορίας υφής στα προβληματικά αυτά σημεία. Η προσέγγιση των μετακινούμενων ελαχίστων τετραγώνων (moving least squares) μπορεί να εφαρμοστεί για την ανακατασκευή τεχνητών και ομαλά μεταβαλλόμενων χρωμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση της χρωματικής τιμής ενός εικονοστοιχείου ανάλογα με τις τιμές που έχει η γεωμετρία στον άξονα Z στο συγκεκριμένο σημείο σε συνδυασμό με τη χρωματική πληροφορία από τα γειτονικά του σημεία.



Εικόνα 14. Χάρτης υφής σε ψηφιοποιημένο αντίγραφο αρχαίου κορινθιακού αγγείου (δεξιά σε ξεχωριστό αρχείο jpg).

## 4. Μεθοδολογίες - Μελέτη περίπτωσης - Ψηφιοποίηση με επίγειο σαρωτή

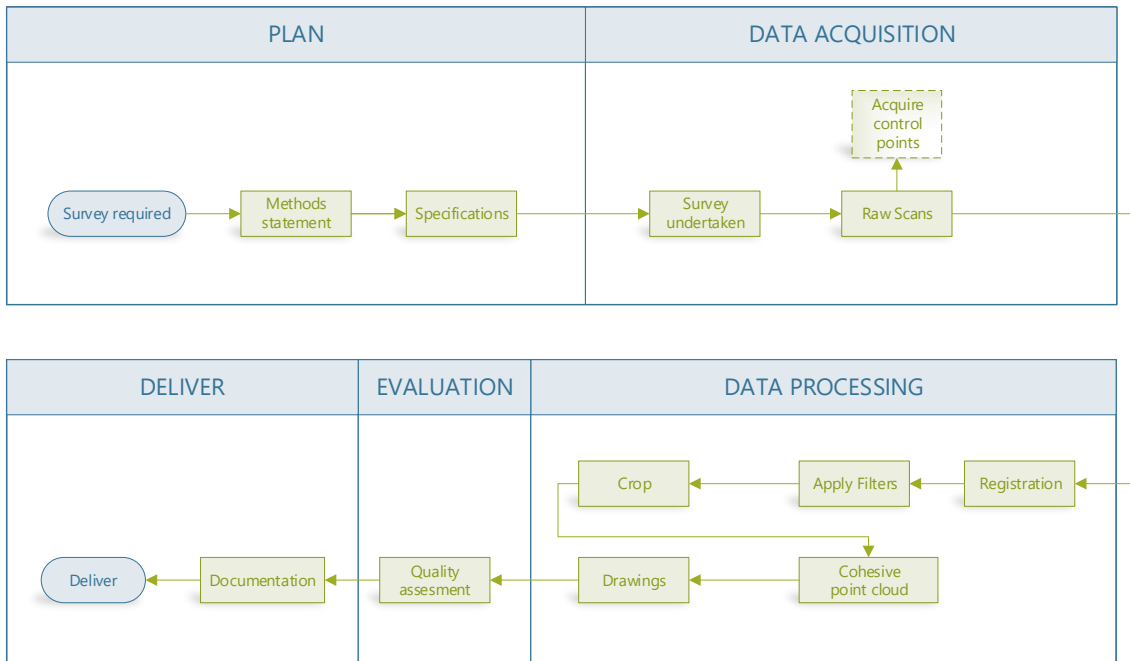
### 4.1 Ροή εργασιών

Η μεθοδολογία που προτείνεται για αποτύπωση χώρου (αρχαιολογικής ανασκαφής), περιλαμβάνει:

- 1) τον σχεδιασμό,
- 2) την συλλογή δεδομένων (μετρήσεων),
- 3) την επεξεργασία,
- 4) τον έλεγχο ποιότητας και
- 5) Τη συγγραφή αναφοράς για τη συνοδεία του αρχείου της καταγραφής.

Για την πλήρη αποτύπωση του χώρου δεν επαρκεί η σάρωση μόνο από μία στάση, αλλά απαιτούνται πολλαπλές στάσεις. Τα δεδομένα μέτρησης του σαρωτή συνίστανται σε μεμονωμένα νέφη σημείων τα οποία έχουν το καθένα το δικό του σύστημα συντεταγμένων. Για να αξιοποιηθούν στο σύνολό τους θα πρέπει να αλλάξει η θέση και ο προσανατολισμός τους έτσι ώστε οι σαρώσεις να χρησιμοποιούν ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων. Η διαδικασία είναι η ταυτοποίηση (registration) που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η διαδικασία αυτή προτείνεται να πραγματοποιηθεί με τρεις τρόπους:

- 1) με τη χρήση τεχνητών στόχων (control points), οι οποίοι τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις κοντά στο αντικείμενο/μνημείο/χώρο, και στη συνέχεια οι σαρώσεις να συνενώνονται βάσει αυτών,
- 2) με χρήση γεωαναφοράς, όπου κάθε νέφος προσανατολίζεται με βάση την τοπογραφική αποτύπωση και
- 3) με βάση τις κοινές περιοχές μεταξύ των νεφών σημείων, δεδομένου ότι θα προβλεφθεί επικάλυψη τουλάχιστον 30% ανά δύο νέφη σημείων.



Εικόνα 15. Μεθοδολογία αποτύπωσης 3D επίγειου σαρωτή.

## 4.2 Καθορισμός προδιαγραφών

Πριν ξεκινήσει η αποτύπωση, θα πρέπει να πραγματοποιείται συνάντηση με την ομάδα έργου για τον καθορισμό των απαιτήσεων. Σε κάθε περίπτωση, προτείνεται, η απαιτούμενη χωρική ανάλυση της αποτύπωσης να είναι μικρότερη των 3mm (εκτός αν αποφασιστεί άλλη τιμή). Στην περίπτωση των νεφών σημείων ως ανάλυση ορίζεται η απόσταση δύο σημείων του νέφους μεταξύ τους. Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνεται επιτόπια αναγνώριση της περιοχής και ο προσδιορισμός του καλύτερου χρόνου συλλογής δεδομένων για την ελαχιστοποίηση των συνθηκών που μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημα στην αποτύπωση (π.χ. συνθήκες φωτισμού, αέρας, ύπαρξη φυσικών εμποδίων) όπως κενά, θόρυβο στην αποτύπωση ή σκιές δεδομένων.

### 4.3 Σημεία τοποθέτησης σαρωτή

Η επιλογή των σημείων για την τοποθέτηση του σαρωτή στον χώρο σάρωσης (π.χ. μια ανασκαφή) θα πρέπει να πραγματοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη τις παρακάτω προδιαγραφές:

1. Την πλήρη κάλυψη του χώρου.
2. Επιλογή στάσεων σε σημεία όπου μεταξύ του σαρωτή και του χώρου προς αποτύπωση δεν παρεμβάλλονται εμπόδια, φυσικά ή τεχνητά.
3. Επιλογή στάσεων που ελαχιστοποιούν τις «σκιές» (τμήματα της χώρου που δεν θα σαρωθούν).
4. Η εμβέλεια του σαρωτή πρέπει να επιλεγθεί σε σχέση με την ακρίβεια, λόγω του ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόστασή του από το χώρο αποτύπωσης τόσο μειωμένη θα είναι η ανάλυση και η ακρίβεια του τελικού προϊόντος.
5. Οι στάσεις θα πρέπει να παρέχουν επικάλυψη τουλάχιστον 30% μεταξύ δύο διαδοχικών σαρώσεων. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, τότε είναι αποδεκτός ένας συμβιβασμός με μικρότερο ποσοστό επικάλυψης, αλλά με τη συνθήκη ότι θα χρησιμοποιηθούν τεχνητοί στόχων (βλέπε ενότητα παρακάτω) θα διευκολύνει κατά πολύ την όλη προσέγγιση και θα διορθώσει τα προβλήματα που ενδέχεται να παρουσιαστούν λόγω μικρότερου ποσοστού επικάλυψης.
6. Επιλογή στάσεων όπου μεταξύ δύο διαδοχικών σαρώσεων να υπάρχουν τουλάχιστον τρεις (3) τεχνητοί στόχοι πλήρως ορατοί από τον σαρωτή και για τις δύο αυτές σαρώσεις. Επιπλέον, η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας λέιζερ στους στόχους τύπου σκακιέρας πρέπει να είναι μικρότερη των 45ο (μοιρών).
7. Την ελαχιστοποίηση (όσο το δυνατόν) της γωνίας πρόσπτωσης της ακτίνας λέιζερ στην επιφάνεια του εδάφους (είναι δύσκολη περίπτωση).
8. Την ελαχιστοποίηση του αριθμού των στάσεων.
9. Την ασφάλεια των προσωπικού, των διερχόμενων ατόμων και των οργάνων.



## 4.4 Τεχνητοί Στόχοι - τοποθέτηση

Μετά την επιλογή των σημείων στάσης σημαντικό βήμα είναι ο καθορισμός της θέσης σημείων ελέγχου (control points), τα οποία χρησιμοποιούνται για τη συνένωση των σαρώσεων ή/και τη γεωαναφορά του μοντέλου. Τα σημεία αυτά είναι συνήθως σφαιρικοί στόχοι ή/και αυτοκόλλητα τύπου σκακιέρας (Εικόνα 30), τα οποία αναγνωρίζονται αυτόματα από τα λογισμικά επεξεργασίας του νέφους σημείων. Πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τρία σημεία καλά κατανομημένα σε κάθε σάρωση, για το βέλτιστο ορισμό του συστήματος αναφοράς της σε σχέση με την προηγούμενη.



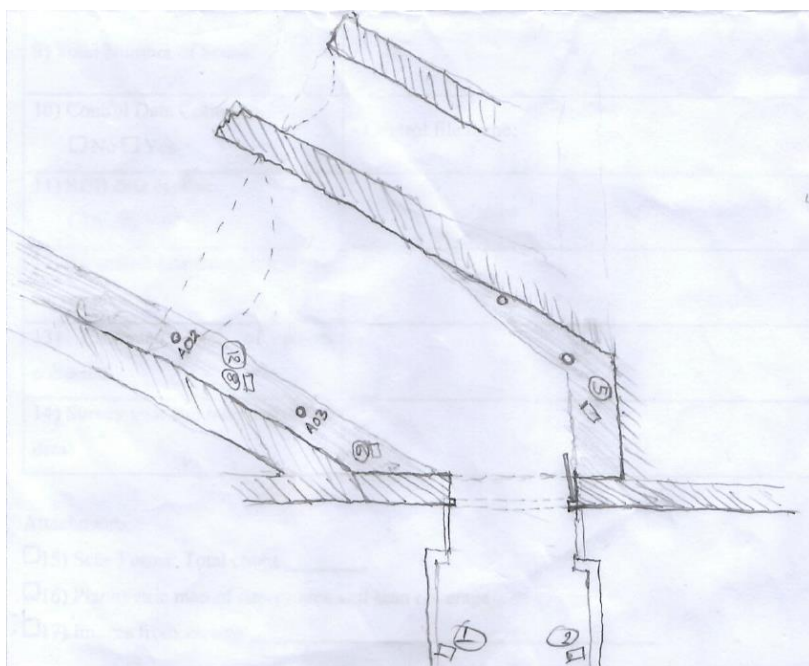
Εικόνα 16. Τεχνητοί στόχοι σφαιρικοί (αριστερά) και τύπου σκακιέρας (δεξιά).

Ένα από τα πιο σημαντικά σημεία όταν χρησιμοποιούνται οι στόχοι είναι ότι πρέπει να τοποθετηθούν όσο το δυνατόν ευρύτερα, όχι μόνο στις κατευθύνσεις των άξονα Χ και Υ αλλά και προς την κατεύθυνση του άξονα Ζ.

## 4.5 Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή μετρήσεων πραγματοποιείται με αποτύπωση της γεωμετρίας του χώρου προς αποτύπωση με ένα αριθμό 3D σαρώσεων, αλλά και με την συλλογή επίγειων σημείων ελέγχου (Ground Control Points - GCPs) σε συγκεκριμένα σημεία. Η διαδικασία σάρωσης συνίστατο στη μεταφορά των οργάνων μέτρησης στην περιοχή μελέτης και στην ενδελεχή ανάλυση της τοπολογίας της περιοχής αυτής.

Κατά τη διαδικασία συλλογής δεδομένων, προτείνεται να πραγματοποιείται από την ομάδα εργασίας μια αποτύπωση σε σκαρίφημα που να καταδεικνύει με αριθμούς μέσα σε κύκλους τα σημεία σάρωσης (δηλ. τα σημεία στα οποία τοποθετήθηκε ο σαρωτής) καθώς και τα GCPs τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και για την εξαγωγή συντεταγμένων γεωαναφοράς. Ενδεικτικά, στην Εικόνα 31 φαίνεται ένα σκαρίφημα από μια παλιότερη σάρωση μνημείου.



Εικόνα 17. Σχεδιάγραμμα σάρωσης του κάτω μέρους της πύλης

Τα σημεία αυτά θα πρέπει να επιλέγονται μετά από ενδελεχή ανάλυση του χώρου, με τέτοιο τρόπο ώστε να τηρούνται οι εννέα (9) προδιαγραφές που αναφέρθηκαν στην ενότητα 5.3. Προτείνεται επίσης κατά τη διάρκεια των σαρώσεων να καταγράφονται οι κλιματολογικές συνθήκες καθώς ατμοσφαιρικοί παράγοντες, όπως η ακτινοβολία, η βροχή, η σκόνη και η ομίχλη, μπορούν να περιορίσουν την αποτελεσματική λειτουργία του σαρωτή και συνεπώς αποφεύγεται η σάρωση κάτω από τέτοιους παράγοντες.

Προτείνεται η χρήση σαρωτών Σύγκρισης Φάσης (Phase Shift Measurement), όπου η εκπεμπόμενη ακτίνα λέιζερ μετατρέπεται σε αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται από τη διαφορά φάσης μεταξύ εκπεμπόμενου και λαμβανομένου κύματος. έτσι ώστε να είναι ορατοί από πολλαπλές θέσεις σάρωσης σε όλη τη σκηνή που σαρώνεται. Στο

Παραδοτέο Π.3.1 αναφέρθηκαν δύο τύποι σαρωτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διαδικασίες αποτύπωσης (Faro Focus ή Z&F Imager). Καθώς πραγματοποιούνται οι αποτυπώσεις, είναι απαραίτητο να καταγράφονται οι ρυθμίσεις για κάθε μία από αυτές σε μορφή πίνακα όπως φαίνεται ενδεικτικά παρακάτω.

#### Πίνακας– Στάσεις σάρωσης και ρυθμίσεις σαρωτή

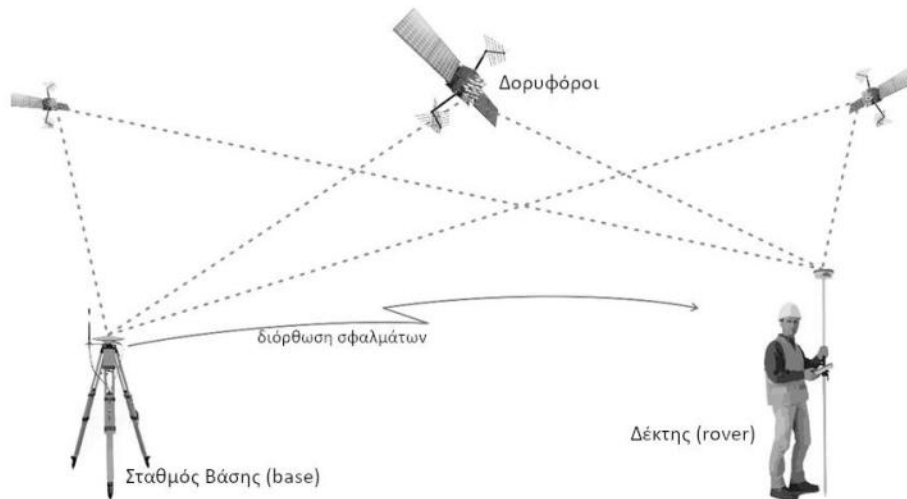
Θέση σάρωσης	Ανάλυση	Ποιότητα	Περιοχή σάρωσης		Αισθητήρες		
			Οριζόντια	Κάθετη	GPS	Compass	Inclinometer
Scan001	1/2	2x	Οριζόντια	Κάθετη	GPS	Compass	Inclinometer
Scan002	1/2	2x	[-60, 60]	[0, 90]	√	√	√
Scan003	1/2	2x	[-60, 75]	[0, 360]	√	√	√
Scan004	1/2	2x	[-60, 90]	[0, 230]	√	√	√
.....							

Μετά από κάθε σάρωση, προτείνεται να γίνεται συλλογή και φωτογραφιών με την ενσωματωμένη μηχανή του σαρωτή έτσι ώστε να οριστεί το χρώμα και η υφή της αποτυπωμένης επιφάνειας. Προτείνεται η φωτογράφιση με ενεργοποιημένη την επιλογή Color HDR στον σαρωτή (ρύθμιση 3x), η οποία συνδυάζει τις εικόνες που έχουν ληφθεί με διαφορετικές ρυθμίσεις έκθεσης σε μία εικόνα με μεγαλύτερη δυναμική περιοχή φωτεινότητας.

## 4.6 Λήψη σημείων ελέγχου

Για τη λήψη σημείων ελέγχου προτείνεται η μέθοδος RTK, στην οποία χρησιμοποιούνται δύο δέκτες (base – rover), με την προϋπόθεση ότι υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των δεκτών, η οποία πραγματοποιείται είτε με κάποιο UHF modem είτε με κάποιο GSM/GPRS modem. Ο κινητός δέκτης λαμβάνει συνεχώς διορθώσεις από τη βάση, η οποία έχει γνωστές συντεταγμένες Χ,Υ,Ζ και τις χρησιμοποιεί για να επιλύσει τα σφάλματα από

τις δορυφορικές λήψεις για την επίτευξη μεγαλύτερης οριζοντιογραφικής και υψομετρικής ακρίβειας, στις θέσεις μέτρησης (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται ακρίβεια της τάξης του εκατοστού σχεδόν σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 18. Σύστημα RTK σταθμού βάσης και δέκτη.

Κατόπιν καταγράφεται ένας πίνακας που περιλαμβάνει τα γεωδαιτικά στοιχεία όλων των σημείων ελέγχου (προτείνονται στόχοι τύπου σκακιέρας). Μια χαρακτηριστική μορφή είναι η αυτή που φαίνεται παρακάτω. Προφανώς, η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να γίνει και πριν τις σαρώσεις καθώς είναι ανεξάρτητη διαδικασία.

Σημείο GCP	Γεωγραφικό Μήκος (X)	Γεωγραφικό Πλάτος (Y)	Υψόμετρο (Z)	Οριζοντιογραφικό σφάλμα	Υψομετρικό σφάλμα
GCP001	878879,762	4040730,531	21,885		
GCP002	878877,096	4040732,852	21,847		
GCP003	878886,434	4040750,418	22,393		
GCP004	878881,413	4040740,077	27,036		
GCP005	878885,414	4040737,778	26,998		

## 4.7 Επεξεργασία δεδομένων

Τα παραγόμενα δεδομένα των μετρήσεων του σαρωτή αποτελούνται από ανεξάρτητα νέφη σημείων με το δικό τους σύστημα αναφοράς τα οποία είναι σε αριθμό όσες και οι στάσεις του οργάνου κατά την αποτύπωση. Για τη δημιουργία ενός ορθού τρισδιάστατου μοντέλου απαιτείται επεξεργασία των παραγομένων δεδομένων. Η επεξεργασία πραγματοποιείται με το λογισμικό που συνοδεύει τους σαρωτές (π.χ. FARO Scene ή Z&F LaserControl) και μπορεί να διαχωριστεί σε βήματα τα οποία και παρουσιάζονται παρακάτω.

### 4.7.1 Οπτική επαλήθευση

Σε πρώτη φάση πρέπει να γίνει ο έλεγχος αναγνώρισης των στόχων τύπου σφαίρας ή/και τύπου σκακιέρας. Ενδέχεται το λογισμικό επεξεργασίας λόγω διαφόρων παραγόντων όπως λάθος τοποθέτηση των στόχων ή λόγω μη σωστής γεωμετρίας να μην αναγνωρίσει τους στόχους ή ακόμα και να θεωρήσει κάποια άλλα αντικείμενα ως στόχους. Με τη διαδικασία αυτή πραγματοποιείται απαλοιφή των χονδροειδών σφαλμάτων και αυτό αποτελεί τη βάση για το επόμενο στάδιο που είναι η διαμόρφωση του μοντέλου της επιφανείας που απαρτίζουν τα μετρημένα σημεία του χώρου. Παράλληλα πραγματοποιείται οπτικός έλεγχος όλων των σαρώσεων, έτσι ώστε να διαπιστωθεί ότι όλες οι μεμονωμένες σαρώσεις έχουν λάβει τα απαιτούμενα δεδομένα.

### 4.7.2 Ενσωμάτωση φωτοϋφής

Κατά τη διάρκεια της σάρωσης του χώρου παρέχεται η δυνατότητα από το σαρωτή να αποθηκεύει χρωματικά στοιχεία με τιμές RGB. Αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται για το χρωματισμό του τελικού μοντέλου. Ειδικά μέσα από το λογισμικό μπορεί να γίνει ο χρωματισμός με μορφή:

- Μονοχρωματικών σημείων.
- Κλίμακας του γκρι (256 αποχρώσεων του γκρι).



- Ψευδοχρωματικών σημείων.
- Σημείων με χρωματισμό από το λογισμικό επεξεργασίας.
- Σημείων με το πραγματικό χρώμα.

Η πιστότητα των τιμών εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το φωτισμό του σημείου καθώς χρησιμοποιείται οπτική τεχνολογία. Σε κάθε περίπτωση προτείνεται ο χρωματισμός να πραγματοποιείται με πραγματικό χρώμα.

### 4.7.3 Ταυτοποίηση

Ακολουθεί κατόπιν η ταυτοποίηση (registration) των νεφών σημείων. Οι επιμέρους σαρώσεις όπως αναφέρθηκε ανήκουν σε ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς και για να είναι δυνατή η μελλοντική επεξεργασία τους θα έπρεπε να μετατοπιστούν και να προσανατολιστούν ώστε να ανήκουν σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει με αδρό τρόπο από το λογισμικό του σαρωτή, όμως προτείνεται να χρησιμοποιούνται και οι βοηθητικοί στόχοι (σφαίρες).

### 4.7.4 Γεωαναφορά

Η διαδικασία της γεωαναφοράς συνίσταται στο προσανατολισμό του νέφους σημείων σε πραγματικές συντεταγμένες. Προτείνεται (όπως προαναφέρθηκε) η αποτύπωση σταθερών σημείων (στόχοι τύπου σκακιέρας) οι οποίοι θα μετρηθούν με τη μέθοδο διαφορικού εντοπισμού RTK, ώστε να τους αποδοθεί η σωστή θέση στο χώρο και κατά συνέπεια και όλου του νέφους σημείων. Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς στο οποίο προτείνεται να ενταχθεί το μοντέλο είναι αυτό που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και είναι γνωστό ως ΕΓΣΑ'87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987).



#### 4.7.5 Καθαρισμός δεδομένων

Κατά τη διάρκεια της σάρωσης ο σαρωτής ενδεχομένως να αποτυπώσει σημεία τα οποία δεν προσφέρουν χρήσιμη πληροφορία, όπως π.χ. βλάβιση. Η επεξεργασία των δεδομένων σε αυτό το βήμα συνίσταται στη διαδικασία καθαρισμού των σημείων αυτών. Επίσης τα σημεία που παίρνουμε από τις σαρώσεις προσβάλλονται από μια διαταραχή που γενικά είναι γνωστή ως «θόρυβος», η οποία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του αντικειμένου. Η μείωση του θορύβου προτείνεται να πραγματοποιείται με την εφαρμογή φίλτρων (είναι εγκατεστημένα μέσα από το πρόγραμμα επεξεργασίας των μετρήσεων) και τα οποία είναι ικανά να αναλύουν στατιστικούς δείκτες (μέγιστη απόσταση, μέση απόσταση και μέση τετραγωνική απόκλιση) με βάση τους υπολογισμούς που έχουν διενεργηθεί.

#### 4.7.6 Έλεγχος ακρίβειας και πιστότητας

Τέλος όλες οι σαρώσεις θα πρέπει να ταυτοποιηθούν με την καταγραφή του συνολικού τους σφάλματος Mean Error (ME) και του μέγιστου σφάλματος που παρουσιάστηκε.

### 4.8 Παραδοτέα αποτύπωσης – παράδοση αρχείων

Σε κάθε αποτύπωση, προτείνεται να συγγράφεται μια αναφορά που περιλαμβάνει όλες τις λεπτομέρειες της καταγραφής (όπως φαίνεται στο Παράρτημα Π3.2 – Παράρτημα «Προτυποποίηση παραδοτέων καταγραφής με επίγειο σαρωτή».

Την αναφορά θα συνοδεύει ένα σύνολο ψηφιακών φακέλων με τα αρχεία που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΦΑΚΕΛΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
------------------	-----------

Σαρώσεις ανά στάση (Raw Scans)	Φάκελος με τις αρχικές σαρώσεις (αρχεία που ενδεικτικά μπορούν να ανοίξουν με το λογισμικό του σαρωτή που θα χρησιμοποιηθεί FARO SCENE ή Z&F LaserControl).
Ολοκληρωμένα projects (Scanner Projects)	Φάκελος με το projects του σαρωτή.
Νέφος Σημείων Point Cloud	Φάκελος με το ολοκληρωμένο και επεξεργασμένο νέφος σημείων της περιοχής σε μορφή .E57 και μορφή .RCS.
Αναφορά (Report)	Αναφορές από την ταυτοποίηση των νεφών σημείων.
Αυτόνομες εφαρμογές περιήγησης σαρώσεων (π.χ. με το Scene2GO)	Χάρτης με όλες τις σαρώσεις στις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί περιήγηση.
Πολυγωνικά πλέγματα (Mesh Files)	Τα 3D μοντέλα σε μορφή .STL και .OBJ.
Σχέδια (Drawings) (εφόσον απαιτηθεί)	Σχέδια σε μορφή .DWG για Autocad 2010-2012, 2013-2017, 2018-2020 και overview maps σε μορφή .DXF για Autocad 2010-2012.

## 5. Μεθοδολογίες - Μελέτη περίπτωσης - Ψηφιοποίηση με φορητό σαρωτή

### 5.1 Ροή εργασιών

Η μεθοδολογία που προτείνεται για αποτύπωση αντικειμένου ή μέρους περιοχής μικρής κλίμακας, περιλαμβάνει:

- 1) τον σχεδιασμό,
- 2) την συλλογή δεδομένων (μετρήσεων),
- 3) την επεξεργασία,
- 4) τον έλεγχο ποιότητας και
- 5) Τη συγγραφή αναφοράς για τη συνοδεία του αρχείου της καταγραφής.

### 5.2 Διαλογή και ετοιμασία αντικειμένου προς σάρωση

Δεδομένου ότι η μέθοδος σύλληψης των 3D καρτέ είναι οπτική, ορισμένοι τύποι αντικειμένων είναι δύσκολο ή και αδύνατο να περιληφθούν στη σάρωση. Αυτή η ομάδα αντικειμένων περιλαμβάνει:

- Αντικείμενα κατασκευασμένα από διαφανή υλικά (γυαλί, ορισμένα είδη από πλαστικό, κλπ)
- Πολύ σκοτεινά αντικείμενα και αντικείμενα με ομοιόμορφη επιφάνεια χωρίς υφή. Γυαλιστερά ή ανακλαστικά αντικείμενα
- Πάρα πολύ μικρά αντικείμενα με πολύ μικρές λεπτομέρειες

Ακόμα κι αν είναι δύσκολο να σαρώσει κανείς τις κατηγορίες που αναφέρθηκαν, υπάρχουν όμως τεχνικές που επιτρέπουν επιτυχή επεξεργασία των εν λόγω αντικειμένων. Για παράδειγμα, ένα διαφανές ή σκούρο μπορεί να βαφτεί με μία ανοιχτόχρωμη μπογιά ή να προστεθεί ειδική σκόνη, πούδρα, κλπ για να μη γυαλίζει. Επιπλέον, άλλες εύκολα αποσπώμενες ουσίες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν (αυτοκόλλητα στόχοι) κτλ.

## 5.3 Τοποθέτηση αντικειμένου ως προς τον σαρωτή και στόχων

Προτείνεται η τοποθέτηση του αντικειμένου σε περιστρεφόμενη πλατφόρμα, ώστε να γίνεται όσο το δυνατόν πιο ομαλά η προβολή του δομημένου φωτός επί της επιφάνειας του αντικειμένου, αλλά και να διατηρείται σε σταθερό σημείο ο σαρωτής. Είναι εξαιρετικά σημαντικό να υποβοηθείται η διαδικασία σάρωσης με την τοποθέτηση (είτε πάνω στο αντικείμενο, είτε περιμετρικά στην επιφάνεια τοποθέτησης) ειδικών στόχων.

## 5.4 Διαδικασία σάρωσης – Συλλογή δεδομένων

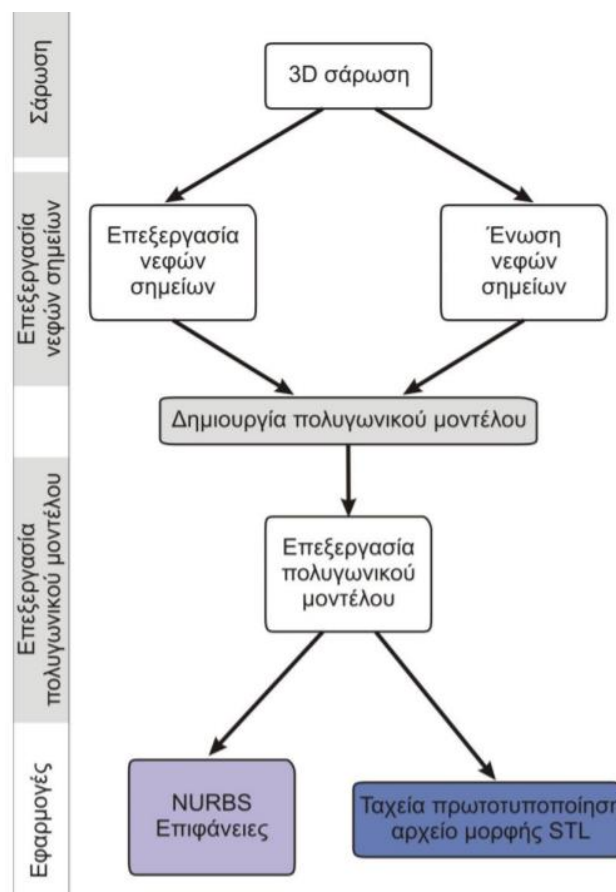
Η διαδικασία της σάρωσης εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από την εμπειρία και την εμπειρία του χρήστη.

- Απαιτείται να διατηρείται σταθερή η βέλτιστη απόσταση μεταξύ του σαρωτή και του αντικειμένου (η απόσταση καθορίζεται από τις λειτουργικές δυνατότητες του σαρωτή). Εάν τοποθετηθεί ο σαρωτής πολύ μακριά ή πολύ κοντά στο αντικείμενο, μπορεί να χαθεί η παρακολούθηση και να μην έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- Απαιτείται σταθερότητα κινήσεων κατά τη σάρωση, καθώς απότομες κινήσεις μπορεί να προκαλέσουν απώλεια παρακολούθησης του σαρωτή. Σε περίπτωση σάρωσης χωρίς περιστρεφόμενη πλατφόρμα, θα πρέπει ο χρήστης να κινεί τον καρπό και να το διατηρεί αρκετά χαλαρό. Αυτό θα εξασφαλίσει την καταγραφή του αντικειμένου από πολλές γωνίες.
- Ο χρήστης χρειάζεται να προσέχει την οθόνη κατά τη σάρωση και όχι να εστιάζει στο αντικείμενο προς σάρωση. Με τον τρόπο αυτό, θα μπορεί να παρακολουθεί τη διαδικασία λήψης και να παρατηρεί τυχόν χαμένες περιοχές ή προβληματικά σημεία καθώς αυτά εμφανίζονται στη διαδικασία επί τόπου.
- Δεν απαιτείται έλεγχος κλιματικών συνθηκών καθώς η διαδικασία γίνεται σε εσωτερικό χώρο κυρίως.
- Δεν απαιτείται γενικά έλεγχος φωτισμού του περιβάλλοντος.

## 5.5 Επεξεργασία δεδομένων

Τα παραγόμενα δεδομένα των μετρήσεων του σαρωτή αποτελούνται αρχικά από ανεξάρτητα νέφη σημείων στο δικό τους σύστημα αναφοράς. Με το λογισμικό του σαρωτή πραγματοποιούνται διαδικασίες αντίστροφης μηχανικής (reverse engineering) οπότε είναι εφικτή η δημιουργία ενός ορθού τρισδιάστατου μοντέλου σε μορφή πλέγματος. Υπάρχει πληθώρα επιλογών για διόρθωση υψής, γέμισμα οπών, αποκοπή σφαλμάτων, αλλαγή γεωμετρίας σε τοπικό επίπεδο κα. Τα δεδομένα είναι εφικτό να παραχθούν σε μοντέλα τύπου obj, επιφάνειες NURBS και STL.

Για λόγους ομοιομορφίας με τις άλλες τεχνικές 3D ψηφιοποίησης προτείνεται να αποκτώνται μοντέλα τύπου obj με υφή και αρχεία τύπου STL. Η διαδικασία συνοψίζεται στην Εικόνα 33.



Εικόνα 19. Ροή εργασιών για σάρωση αντικειμένου με φορητό σαρωτή.

## 5.6 Παραδοτέα ψηφιοποίησης – παράδοση αρχείων

Σε κάθε καταγραφή αντικειμένου με φορητό 3D σαρωτή, προτείνεται να συγγράφεται μια αναφορά που περιλαμβάνει όλες τις λεπτομέρειες της καταγραφής. Την αναφορά θα συνοδεύει ένα σύνολο ψηφιακών φακέλων με τα παρακάτω αρχεία:

ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΦΑΚΕΛΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Ολοκληρωμένα projects (3D Scanner Projects)	Φάκελος με το project του σαρωτή (αρχείο ανάλογα με το μοντέλο του σαρωτή).
Αναφορά (Report)	Αναφορές από την ταυτοποίηση των νεφών σημείων.
Πολυγωνικά πλέγματα (Mesh Files)	Τα 3D μοντέλα σε μορφή .STL και .OBJ.



## 6. Μεθοδολογίες - Μελέτη περίπτωσης - Ψηφιοποίηση με φωτογραμμετρία

### 6.1 Ροή εργασιών

Η μεθοδολογία που προτείνεται για αποτύπωση αντικειμένου ή μέρους περιοχής μικρής κλίμακας, περιλαμβάνει:

- 1) τον σχεδιασμό,
- 2) την συλλογή δεδομένων (λήψη κατάλληλου σετ εικόνων),
- 3) την επεξεργασία,
- 4) τον έλεγχο ποιότητας και
- 5) Τη συγγραφή αναφοράς για τη συνοδεία του αρχείου της καταγραφής.

### 6.2 Καθορισμός προδιαγραφών

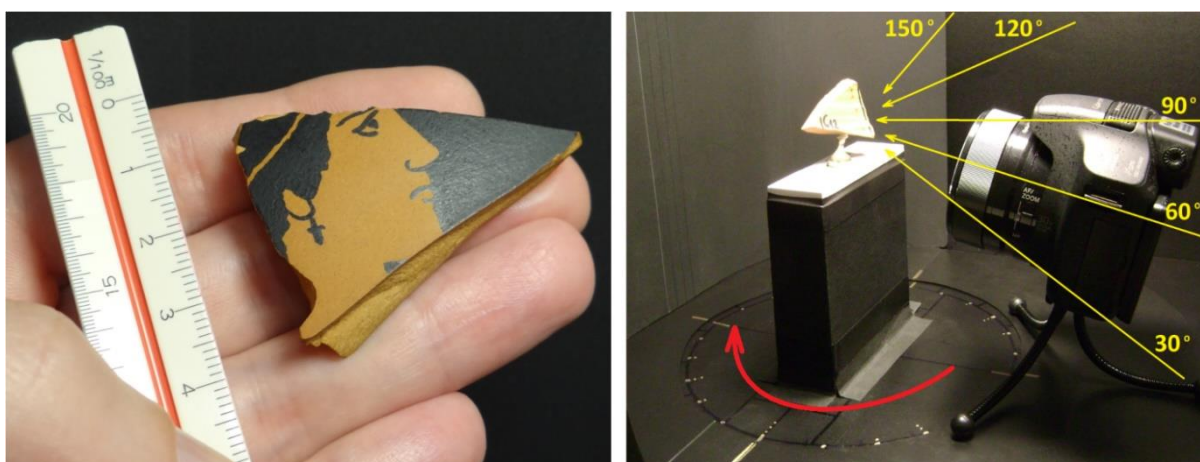
Πριν ξεκινήσει η αποτύπωση με φωτογραμμετρία, θα πρέπει να πραγματοποιείται συνάντηση με την ομάδα έργου για τον καθορισμό των απαιτήσεων, ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του αντικειμένου.

Η σχεδίαση του τρόπου συλλογής δεδομένων είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία και αφορά τον τρόπο λήψεων των εικόνων. Όπου είναι εφικτό, προτείνεται επισταμένη μελέτη του αντικειμένου ψηφιοποίησης, καθώς και δοκιμαστικές λήψεις, οι οποίες θα βοηθήσουν στην καλύτερη ανάπτυξη του σχεδίου συλλογής δεδομένων. Προφανώς σε εργασίες σε εξωτερικούς χώρους πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συνθήκες εργασίας και άλλες πιθανές προκλήσεις, όπως τα καιρικά φαινόμενα, η πρόσβαση, η μεταφορά του εξοπλισμού, το πλήθος των ατόμων της ομάδας ψηφιοποίησης, οι κανονισμοί ασφαλείας, διάφορα νομικά ζητήματα και έγγραφες άδειες όπου απαιτούνται.

## 6.3 Εξοπλισμός

Όσον αφορά τον εξοπλισμό για ένα έργο φωτογραμμετρίας ισχύουν τα εξής:

- Απαιτείται η χρήση ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής τύπου DSLR με σχετικά υψηλή ανάλυση (>12 MPixels) και κυριότερα με μεγάλο μέγεθος οπτικού αισθητηρίου (πχ. full frame, APS-C). Οι DSLR φωτογραφικές μηχανές προσφέρουν επιλογές με τις οποίες οι παραμορφώσεις λόγω της συμπίεσης παραμένουν σε χαμηλό επίπεδο, ώστε να μην επηρεάζεται η 3D ανακατασκευή
- Προτείνεται χρήση ευρυγώνιων και όχι fisheye ή υπερευρυγώνιου φακού. Οι τελευταίοι προκαλούν παραμορφώσεις που έχουν αρνητική επίδραση στη δημιουργία του μοντέλου.
- Συνίσταται πλατφόρμα περιστροφής του αντικείμενου προς ψηφιοποίηση (όταν πρόκειται για φορητό αντικείμενο) και σταθερή θέση της κάμερας (βλ. Εικόνα 34).



Εικόνα 20. Αριστερά, όστρακο κεραμικής, μικρής κλίμακας και σύνθετης γεωμετρίας, διαστάσεων 4,8 x 3,5 x 0,8 cm. Δεξιά, το σκηνικό της φωτογράφισης διαστάσεων 50 x 50 x 50 cm. Η κατασκευή λειτουργεί ως ένα απλό περιστρεφόμενο πλατό. Περιστρέφει την φωτογραφική μηχανή ενώ παράλληλα διατηρεί το αντικείμενο σταθερό. Ο φωτισμός βρίσκεται επάνω από το αντικείμενο και διατηρείται και αυτός σε όλη την διάρκεια της διαδικασίας φωτογράφισης, σταθερός και αμετάβλητος (Σταματόπουλος, Αναγνωστόπουλος, 2018).

## 6.4 Οδηγίες – προετοιμασία της διαδικασίας

Για τη λήψη του σετ εικόνων είναι σημαντικό να ακολουθηθούν κάποιες καλές πρακτικές που θα βελτιώσουν σημαντικά τα αποτελέσματα του έργου φωτογραμμετρίας. Συγκεκριμένα θα πρέπει να εξασφαλιστεί:

- Χρήση μίας σταθερής εστιακής απόστασης (fixed focal length)
- Σταθερή απόσταση αντικειμένου-κάμερας (όσο είναι δυνατόν) κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης
- Μεγάλο ποσοστό επικάλυψης των φωτογραφιών (τουλάχιστον 60% σε δύο γειτονικές φωτογραφίες, συνίσταται περίπου 80%). Για την εξασφάλιση ενός βαθμού επικάλυψης 80% σε δύο «γειτονικές» φωτογραφίες, η φωτογραφική μηχανή θα πρέπει να κινηθεί σε μια απόσταση ανάλογη του 17% του οπτικού της πεδίου.
- Το αντικείμενο προς αποτύπωση θα πρέπει να βρίσκεται στο κέντρο του συνολικού «κάδρου» της φωτογραφίας και να καλύπτει τα 3/5 του μέρους της (image plane). Παράλληλα, για την επίτευξη καλής γεωμετρικής ανάλυσης θα πρέπει να αποφεύγεται η λήψη φωτογραφιών από υπερβολικές γωνίες θέασης (υπερβολική προοπτική).
- Επιλογή λήψεων περιμετρικά του αντικειμένου ή χώρου προς αποτύπωση, χωρίς να παρεμβάλλονται εμπόδια, φυσικά ή τεχνητά (ισχύει ειδικά για αποτύπωση μνημείων ή μέρους εδαφών/χώρων).
- Επιλογή συνθηκών ελεγχόμενου ομαλού και διάχυτου φωτισμού που ελαχιστοποιεί τις «σκιές» ή τις αντανακλάσεις. Σε περίπτωση μικρών αντικειμένων προτείνεται η χρήση φωτογραφικού κουτιού (lightbox), όπου αυτό επιτρέπεται. Η χρήση του ενσωματωμένου φλας πρέπει να αποφεύγεται όπως και η λήψη υπερφωτισμένων φωτογραφιών. Είναι προτιμότερη η εξάντληση των ρυθμίσεων που παρέχει η μηχανή για την επίτευξη του σωστού φωτισμού πριν από την εφαρμογή φλας.
- Χρήση στόχων (φωτοσταθερών) στο επίπεδο x-y (επιφάνεια υποστήριξης του αντικειμένου) και για αύξηση απόδοσης και στο επίπεδο x-z (εφόσον το αντικείμενο μπορεί να το υποστηρίξει). Εναλλακτικά στο επίπεδο x-y συνίσταται να εμφανίζεται

επιφάνεια με ευδιάκριτα χαρακτηριστικά και πλούσια υφή. Τα φωτοσταθερά (φωτογραμμετρικοί στόχοι), θα αποτελούν σημεία αναφοράς του συστήματος συντεταγμένων, αλλά και κλίμακας.

- Να γίνεται χρήση της χαμηλότερης δυνατής ρύθμισης ISO στην φωτογραφική μηχανή. Η ρύθμιση του ISO ορίζει πόση ενίσχυση του σήματος στον οπτικό αισθητήριο πραγματοποιεί με ηλεκτρονικό τρόπο η φωτογραφική μηχανή. Όσο περισσότερη ενίσχυση υπάρχει τόσο περισσότερος ο θόρυβος θα προστίθεται στην εικόνα. Αυτός ο θόρυβος μπορεί να επηρεάσει δραματικά τη διαδικασία αντιστοίχισης σημείων ανάμεσα σε διαφορετικές φωτογραφίες.
- Η ρύθμιση της ταχύτητας του κλείστρου να ακολουθεί τις εκάστοτε συνθήκες φωτισμού και τις άλλες ρυθμίσεις που προηγούνται, με γνώμονα πάντοτε την ακινητοποίηση της σκηνής (δηλαδή οι μεγαλύτερες ταχύτητες κλείστρου είναι προτιμητέες). Αν δεν είναι εφικτό να γίνει ρύθμιση ταχύτητας άνω του 1/100 τότε προτείνεται η χρήση τρίποδα και τηλεχειρισμού (για αύξηση σταθερότητας λήψεως).
- Σημαντικά σημεία και λεπτομέρειες του αντικειμένου ή της χώρας προς αποτύπωση θα πρέπει να φωτογραφίζονται από πολλές διαφορετικές οπτικές γωνίες.
- Σε περίπτωση αποτύπωσης σε εξωτερικό χώρο η συλλογή δεδομένων πρέπει να γίνει σε ημέρα με έντονη νέφωση για την ύπαρξη διάχυτου φωτισμού.
- Είναι προτιμότερο να γίνει συλλογή πολλών δεδομένων (πολλές εικόνες) παρά να απαιτηθεί επιστροφή στο πεδίο για επανάληψη της διαδικασίας της φωτογραμμετρίας. Οι επιπλέον φωτογραφίες μάλιστα οδηγούν στη βελτίωση των αποτελεσμάτων μέσω του πλεονασμού δεδομένων (data redundancy). Εάν κάποιες φωτογραφίες δεν είναι κατάλληλες, τα περισσότερα λογισμικά τις απορρίπτουν από τη διαδικασία.
- Κατά τη συλλογή δεδομένων θα πρέπει να καθοριστεί ένα σύστημα συντεταγμένων αναφοράς για την κλιμάκωση του 3D αντιγράφου σε πραγματικές διαστάσεις (1:1), εάν αυτό απαιτηθεί (π.χ. σε περιπτώσεις 3D εκτύπωσης). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην ποιότητα των μετρήσεων που αφορούν στο συγκεκριμένο σύστημα

συντεταγμένων και κλίμακας, αφού το οποιοδήποτε σφάλμα θα μεταφερθεί στο 3D ψηφιακό αντίγραφο.

## 6.5 Τροχιά απόκτησης λήψεων

### 6.5.1 Φωτογράφιση μικρού (φορητού) αντικειμένου

Σε περίπτωση φορητού αντικειμένου μικρής κλίμακας (π.χ. μικρό αγγείο, θραύσμα, είδη κεραμικής κτλ), θα πρέπει να ακολουθηθεί ο παρακάτω σχεδιασμός τροχιάς λήψεων (είτε το αντικείμενο είναι σταθερό και κινείται η κάμερα, είτε το αντίθετο). Συγκεκριμένα θα πρέπει:

- Να σχεδιαστούν πολλαπλοί κλειστοί βρόχοι από λήψεις που προβάλλουν το αντικείμενο από διαφορετικές οπτικές γωνίες θέασης τοποθετημένες πάνω σε ένα ιδεατό κύκλο.
- Να εξασφαλιστεί σταθερή απόσταση αντικειμένου-κάμερας (όσο είναι δυνατόν) κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης.
- Να υπάρχει πλήρης κάλυψη του αντικειμένου (360 ή 180 μοίρες) σε τουλάχιστον 3 τροχιές (κάτω-μέση-άνω μέρος του αντικειμένου).
- Η περιστροφή (του αντικειμένου μέσω πλατφόρμας ή του χρήστη/φωτογράφου) να γίνεται συστηματικά, κατά μια διεύθυνση μόνο (αριστερά προς δεξιά ή δεξιά προς αριστερά), καθώς το λογισμικό μπορεί να εκμεταλλευτεί το συγκεκριμένο τρόπο λήψης και να μειώσει το συνολικό χρόνο υπολογισμού της 3D ανακατασκευής. Όλα τα λογισμικά αποθηκεύουν γειτονικές φωτογραφίες με συνεχή (αύξουσα) και ταξινομημένη αρίθμηση.
- Να πραγματοποιείται καταγραφή συνθηκών (θερμοκρασία, πίεση αέρα, σχετικής υγρασίας) που επικρατούν κατά το έργο της φωτογραμμετρίας. Αυτό το βήμα είναι απαραίτητο όταν απαιτείται και η εξαντλητική καταγραφή σφαλμάτων λόγω μηχανικών ιδιοτήτων (π.χ. συστολή, διαστολή).



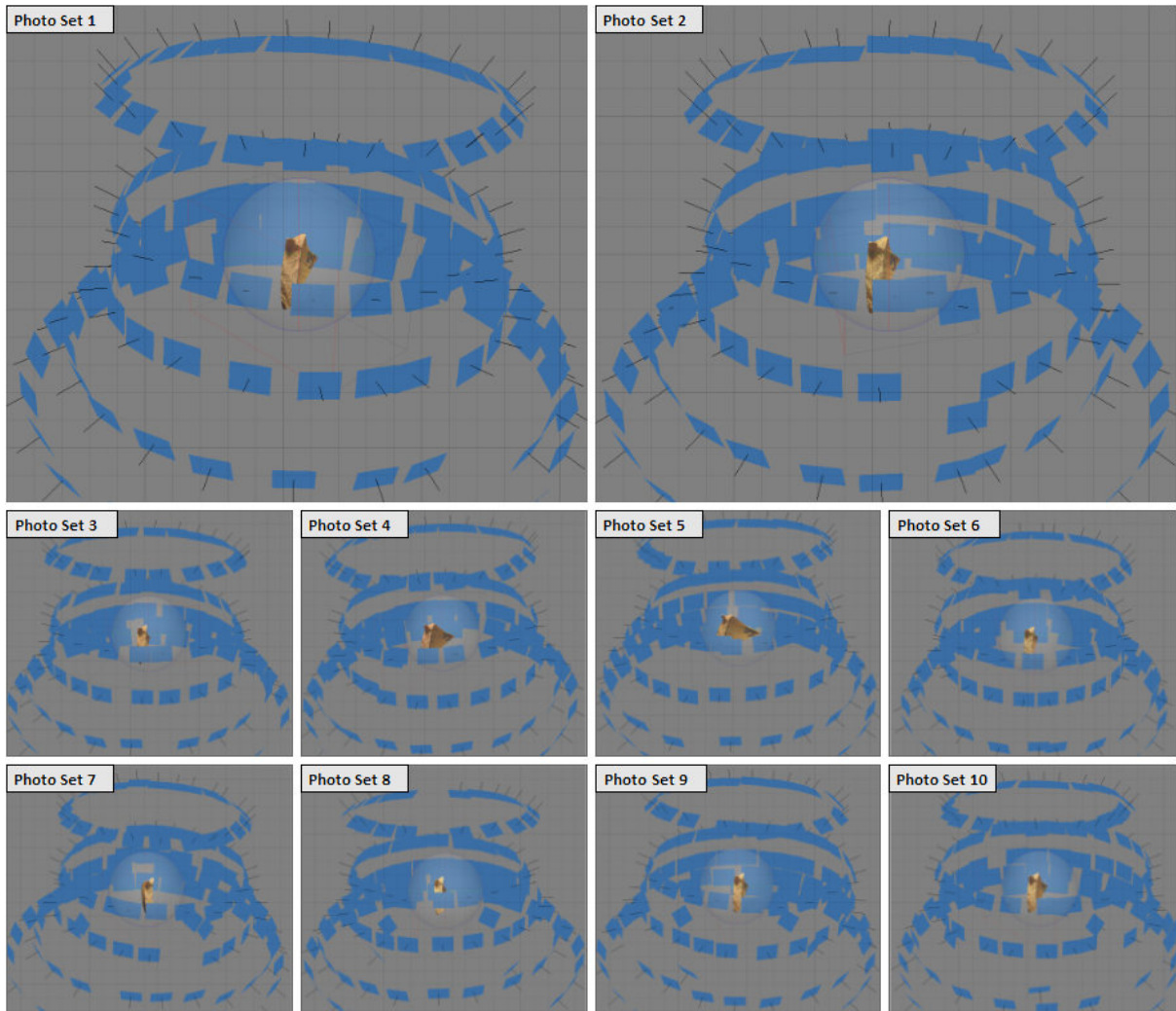


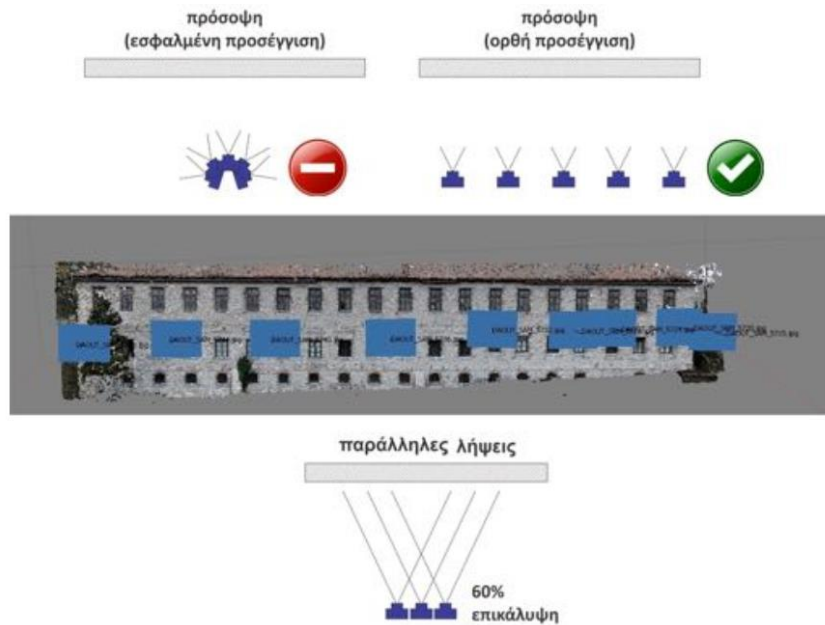
	Photo Set 1	Photo Set 2	Photo Set 3	Photo Set 4	Photo Set 5	airTemp (°C)	mslPres (hPa)	relHumi (%)
<b>Photographs</b>	118	118	116	120	120			
<b>Targets</b>	20	21	19	21	17			
<b>Point Cloud</b>								
Points	33,381 of 83,989	38,058 of 88,286	31,227 of 78,701	33,387 of 84,803	33,301 of 84,128			
RMS reprojection error	0.180827 (1.18106 pix)	0.180633 (1.14053 pix)	0.166336 (1.11974 pix)	0.175287 (1.17871 pix)	0.176446 (1.19543 pix)			
Max reprojection error	0.557087 (28.8866 pix)	0.553965 (30.1705 pix)	0.515611 (29.2099 pix)	0.540558 (28.332 pix)	0.543427 (28.3337 pix)			
<b>Dense Point Cloud</b>								
Points	5,128,914	4,667,597	4,661,738	5,543,887	5,421,945			
<b>Model</b>								
Faces	83,150	142,536	125,488	79,862	68,724			
Vertices	41,576	71,258	62,744	39,940	34,363			
	Photo Set 6	Photo Set 7	Photo Set 8	Photo Set 9	Photo Set 10			
<b>Photographs</b>	120	120	120	120	120			
<b>Targets</b>	19	19	22	20	21			
<b>Point Cloud</b>								
Points	35,766 of 84,745	33,899 of 85,407	37,753 of 90,235	37,137 of 89,409	33,225 of 84,511			
RMS reprojection error	0.174282 (1.09333 pix)	0.174819 (1.21762 pix)	0.172321 (1.10788 pix)	0.176904 (1.13263 pix)	0.170231 (1.12541 pix)			
Max reprojection error	0.536279 (29.639 pix)	0.536726 (26.3989 pix)	0.531203 (28.6609 pix)	0.542949 (23.76 pix)	0.524226 (28.0201 pix)			
<b>Dense Point Cloud</b>								
Points	5,153,917	5,700,402	5,821,107	5,893,994	5,390,908			
<b>Model</b>								
Faces	50,390	55,848	59,042	65,594	82,402			
Vertices	25,195	27,927	29,523	32,794	41,200			
						<b>Photo Set 1</b>		
						29.0	1010.9	20.
						<b>Photo Set 2</b>		
						28.6	1011.1	22.
						<b>Photo Set 3</b>		
						28.5	1011.0	20.
						<b>Photo Set 4</b>		
						28.7	1010.8	21.
						<b>Photo Set 5</b>		
						28.5	1010.9	22.
						<b>Photo Set 6</b>		
						29.0	1008.0	32.
						<b>Photo Set 7</b>		
						28.2	1006.8	47.
						<b>Photo Set 8</b>		
						29.0	1004.6	28.
						<b>Photo Set 9</b>		
						28.5	1005.5	53.
						<b>Photo Set 10</b>		
						28.0	1006.1	58.

Εικόνα 21. Ένα παράδειγμα τροχιών αποτύπωσης σε θραύσματα αγγείου σε έργο φωτογραμμετρίας υψηλής ακρίβειας (120 φωτογραφίες ανά θραύσμα και αποτύπωση περιβαλλοντικών συνθηκών.

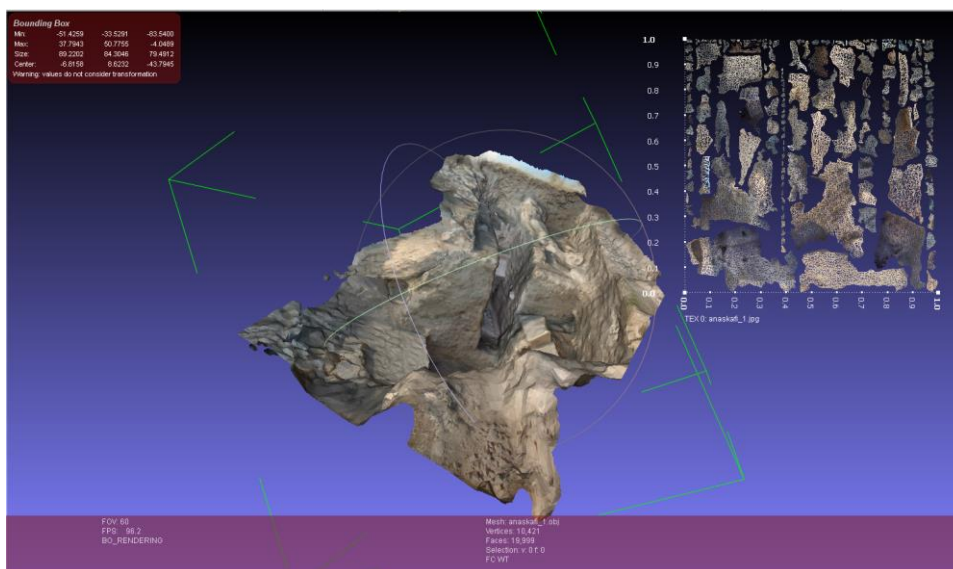
## **6.5.2 Φωτογράφιση μεγάλου (μη φορητού) αντικειμένου/μνημείου ή χώρου:**

Σε περίπτωση μη φορητού αντικειμένου μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας (π.χ. μέρος μια ανασκαφής, τοιχοποιία ενός μνημείου κτλ), θα πρέπει να ακολουθηθεί ο παρακάτω σχεδιασμός τροχιάς λήψεων της κάμερας ως προς το αντικείμενο προς αποτύπωση. Συγκεκριμένα θα πρέπει:

- Να πραγματοποιούνται παράλληλες συγκλίνουσες λήψεις με χρήση τρίποδα ή μεταβλητού ύψους μονόποδο. Η φωτογραφική μηχανή θα πρέπει να μετακινείται πάνω σε μία νοητή γραμμή ίσης απόστασης από το αντικείμενο (ακολουθώντας τη γενική του γεωμετρία) και σε τακτά διαστήματα να πραγματοποιείται νέα λήψη φωτογραφίας (ανάγκη για τουλάχιστον 60% επικάλυψη, συνίσταται 80%). Η κίνηση πρέπει να γίνεται συστηματικά, κατά μια διεύθυνση μόνο (αριστερά προς δεξιά και δεξιά προς αριστερά), καθώς το λογισμικό μπορεί να εκμεταλλευτεί το συγκεκριμένο τρόπο λήψης και να μειώσει το συνολικό χρόνο υπολογισμού της 3D ανακατασκευής.



Εικόνα 22. Τροχιά λήψεων σε έργο φωτογραμμετρίας μη φορητού αντικειμένου, εδώ τοιχοποιία ενός μνημείου (Παυλίδης, 2019).

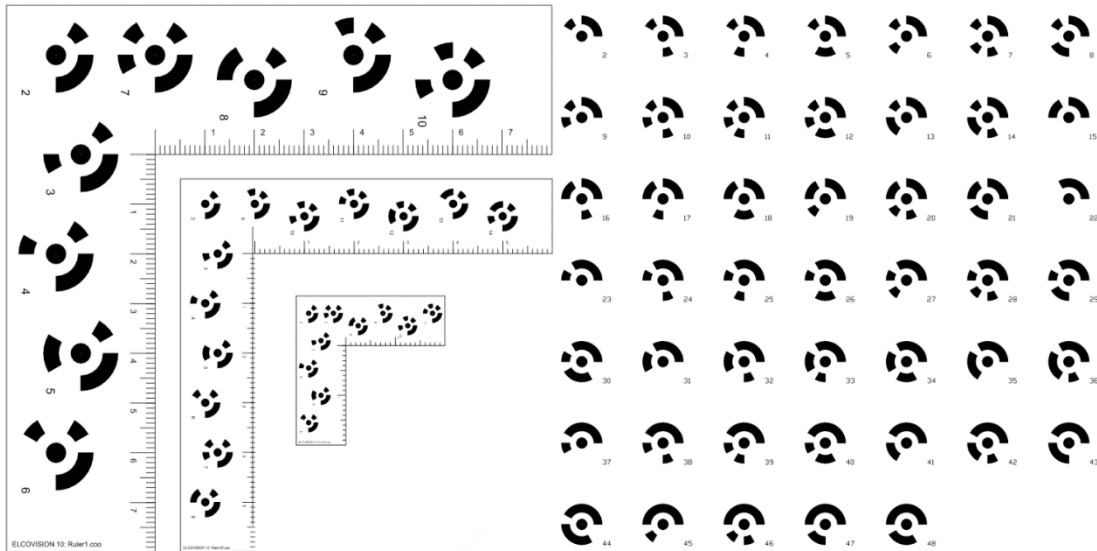


Εικόνα 23. Αποτέλεσμα έργου φωτογραμμετρίας μη φορητού αντικειμένου, εδώ τμήμα και τομέας μιας ανασκαφής.

## 6.6 Τεχνητοί Στόχοι (φωτοσταθερά)

Οι τεχνητοί στόχοι είναι χαρακτηριστικά σημεία που προστίθενται από το χρήστη προς επίρρωση της διαδικασίας της φωτογραμμετρίας, ιδιαίτερα σε αντικείμενα με

ομοιόμορφη υφή. Τα σημεία αυτά είναι συνήθως αυτοκόλλητα με σχήμα κυκλικών στόχων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 38, οι οποίοι αναγνωρίζονται αυτόματα από τα λογισμικά επεξεργασίας του νέφους σημείων.



Εικόνα 24. Τεχνητοί στόχοι. Αριστερά σε σχήμα Γ με μετρητική πληροφορία και δεξιά κυκλικοί αριθμημένοι στόχοι.

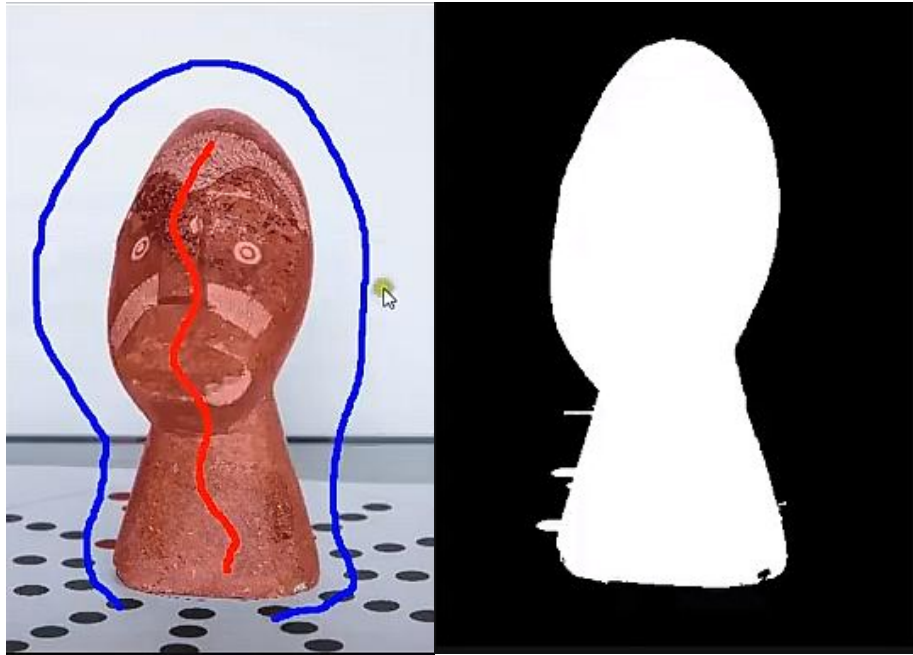
Ένα από τα πιο σημαντικά σημεία όταν χρησιμοποιούνται οι στόχοι είναι ότι πρέπει να τοποθετηθούν όσο το δυνατόν ευρύτερα, όχι μόνο στις κατευθύνσεις των άξονα X και Y αλλά και προς την κατεύθυνση του άξονα Z (Σταματόπουλος και Αναγνωστόπουλος, 2021).

## 6.7 Οπτική επαλήθευση και προεπεξεργασία

Πριν την εφαρμογή των αλγορίθμων 3D ανακατασκευής προτείνεται:

- Ο εντοπισμός και απόρριψη των θολών φωτογραφιών με κακή εστίαση.
- Η χρήση διαδικασίας masking για την απευθείας αφαίρεση του background σε περίπτωση όπου υπάρχει ελλιπής χρήση στόχων ή προβληματικού περιβάλλοντος με μεγάλες αντανάκλασεις, εικόνες με θόρυβο (π.χ. βλάστηση σε αποτύπωση χώρων). Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στην Εικόνα 39.





Εικόνα 25. Διαδικασία *masking*. Δεξιά η δυαδική μάσκα, όπου με μαύρο σημειώνεται η περιοχή που αποκόπεται από τη διαδικασία (λογισμικό 3DF Zephyr, <https://www.3dflow.net/3df-zephyr-photogrammetry-software/>).

## 6.8 Επεξεργασία και σύνθεση δεδομένων

Συνοπτικά, οι επιμέρους διαδικασίες υλοποιούνται είναι:

- αυτόματος προσανατολισμός των φωτογραφιών μέσω εντοπισμού ομόλογων χαρακτηριστικών σημείων σε όλες τις εικόνες με συνταύτιση των περιγραφών τους (descriptors)
- επίλυση τριγωνισμού με εξαίρεση σφαλμάτων στις μετρήσεις και ταυτόχρονη βαθμονόμηση (self-calibration)
- αυτόματη συλλογή νέφους σημείων της περιοχής μέσω αλγορίθμων πολυεικονικής συνταύτισης (local/global matching)
- δημιουργία αραιού και πυκνού νέφους σημείων
- απαλοιφή θορύβου και δημιουργία ψηφιακού μοντέλου
- δημιουργία πλήρως τρισδιάστατου μοντέλου αντικειμένου σε μορφή πλέγματος με πραγματική φωτοϋφή



Τα παραπάνω βήματα πραγματοποιούνται από λογισμικά φωτογραμμετρίας (π.χ. το Agisoft Photoscan/Metashape ή το 3dfZephyr).

## 6.9 Καθαρισμός

Κατά τη διάρκεια παραγωγής του 3D πλέγματος, ενδεχομένως να αποτυπωθούν σφάλματα ή αλλοιωμένη γεωμετρία του χώρου. Η επεξεργασία των δεδομένων σε αυτό το βήμα συνίσταται στη διαδικασία καθαρισμού και διόρθωσης των προβληματικών σημείων. Ο καθαρισμός του πλέγματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή φίλτρων (είναι εγγενώς εγκατεστημένα στο πρόγραμμα φωτογραμμετρίας) και πραγματοποιείται χειροκίνητα από τον χρήστη.

## 6.10 Έλεγχος ακρίβειας και πιστότητας

Μετά το τέλος ενός έργου φωτογραμμετρίας θα πρέπει να καταγραφεί η ακρίβεια της αποτύπωσης/ψηφιοποίησης μέσω φωτογραμμετρίας. Η απόσταση της φωτογράφισης σχετίζεται με την ανάλυση της ψηφιοποίησης που σχετίζεται με τη μετρική της απόστασης δειγματοληψίας εδάφους ή ground sampling distance - GSD. Ο υπολογισμός του GSD αναλύεται στο αντίστοιχο μέρος της φωτογραμμετρίας με εναέρια μέσα (επόμενη ενότητα), οπότε δεν θα αναλυθεί περαιτέρω.

Για τον υπολογισμό της ακρίβειας του παραγόμενου 3D μοντέλου, πέρα από την απόσταση φωτογράφισης, είναι απαραίτητο να καταγράφεται η εστιακή απόσταση (focal length), η ανάλυση της εικόνας που παράγεται και οι διαστάσεις του CCD της φωτογραφικής μηχανής.

## 6.11 Παραδοτέα – παράδοση αρχείων

Σε κάθε έργο φωτογραμμετρικής αποτύπωσης, προτείνεται να συγγράφεται μια αναφορά που περιλαμβάνει όλες τις λεπτομέρειες της καταγραφής. Την αναφορά θα συνοδεύει ένα σύνολο ψηφιακών φακέλων με τα παρακάτω αρχεία:

ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΦΑΚΕΛΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Σύνολο των εικόνων	Φάκελος με το σύνολο των εικόνων
Ολοκληρωμένο projects φωτογραμμετρία (Photogrammetry Projects)	Φάκελος με το project της φωτογραμμετρίας (ανάλογα με το λογισμικό).
Νέφος Σημείων Point Cloud	Φάκελος με το ολοκληρωμένο και επεξεργασμένο νέφος σημείων της περιοχής σε μορφή *.E57 ή *.txt ή *.las.
Αναφορά (Report)	Αναφορές από την ταυτοποίηση των νεφών σημείων.
Πολυγωνικά πλέγματα (Mesh Files)	Τα 3D μοντέλα σε μορφή *.STL και *.OBJ.

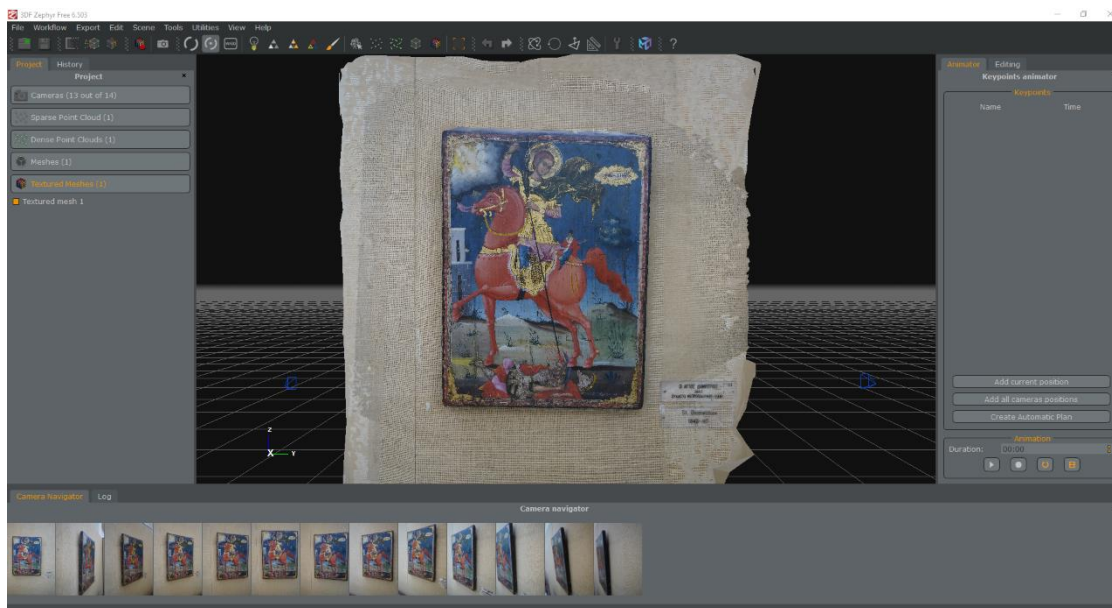
## 6.12 Παραδείγματα σε λογισμικό 3DF Zephyr

### 6.12.1 Λογισμικό φωτογραμμετρίας

Το 3DF Zephyr είναι ένα εμπορικό λογισμικό φωτογραμμετρίας και τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Αναπτύχθηκε και διατίθεται στην αγορά από τον ιταλικό οίκο λογισμικού 3DFLOW, το 3DF Zephyr κυκλοφόρησε για πρώτη φορά τον Ιανουάριο του 2014 και έκτοτε ενημερώνεται συνεχώς. Είναι ένα πλήρες πακέτο λογισμικού φωτογραμμετρίας που περιλαμβάνει πολλά εργαλεία επεξεργασίας μετά την επεξεργασία, μετρήσεις,

τριδιάστατη μοντελοποίηση και δημιουργία περιεχομένου. Επιτρέπει την τριδιάστατη ανακατασκευή τόσο από φωτογραφίες όσο και από βίντεο, εξάγοντας αυτόματα καρτέ και επιλέγοντας τα καταλληλότερα για τον υπολογισμό.

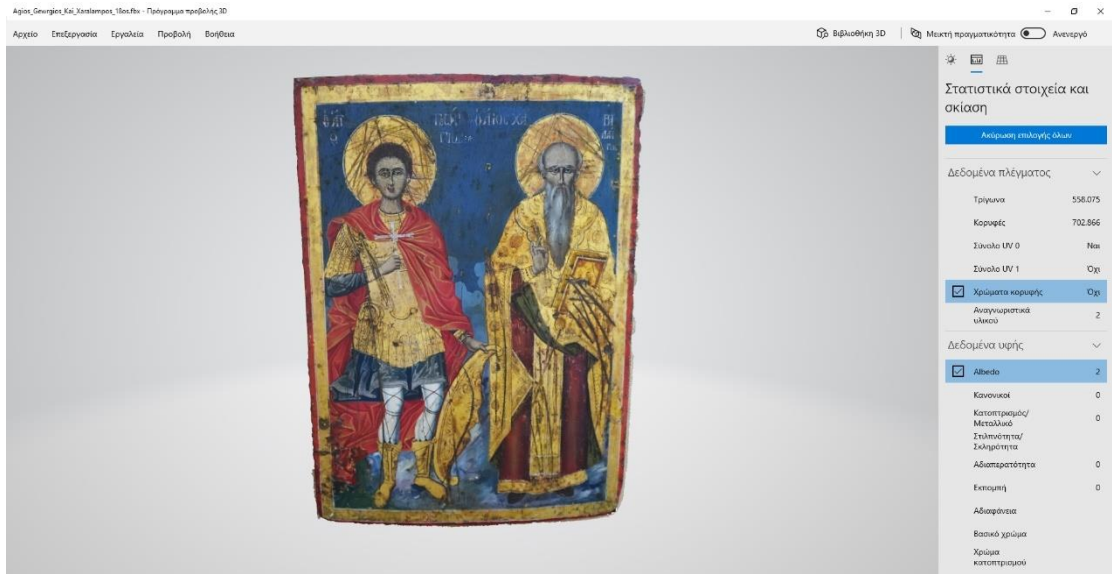
Στην παρακάτω εικόνα αυτό που εικονίζεται είναι το τελικό αποτέλεσμα της φωτογραμμετρίας, ύστερα από την εισαγωγή των απαραίτητων φωτογραφιών στο λογισμικό 3D Zephyr.



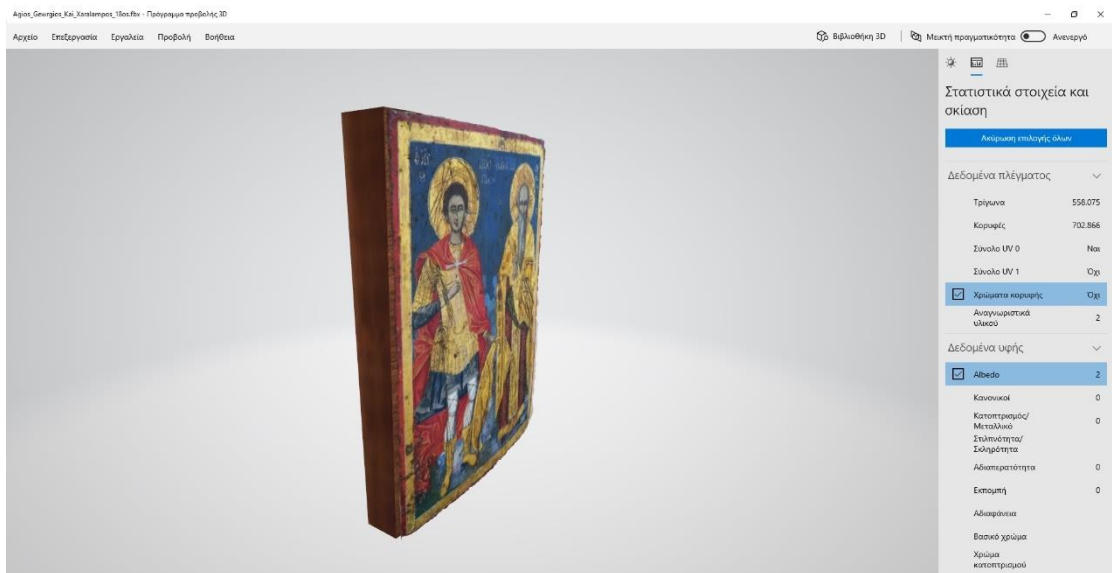
Εικόνα 26: Τελικό αποτέλεσμα επεξεργασίας από το λογισμικό 3D Zephyr - ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ 1843.

### 6.12.2 Καθαρισμός και επεξεργασία 3D μοντέλων

Ο καθαρισμός του θορύβου που προέκυψε από την μέθοδο της φωτογραμμετρίας πραγματοποιήθηκε μέσω των λογισμικών του MeshLab (<https://www.meshlab.net/>) και του Cinema 4D. Η συγκεκριμένη φάση είναι μια διαδικασία στην οποία δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση και προσοχή. Χάρης σε αυτά τα δύο λογισμικά και συγκεκριμένα μέσω του Cinema 4D επετεύχθη ένα πολύ ικανοποιητικό όπως φαίνεται παρακάτω.



Σε περιπτώσεις όπου λόγω της θέσης στην οποία ήταν τοποθετημένα τα κειμήλια (εδώ γωνίες, κακός φωτισμός, εικόνες οι οποίες ήταν σε προθήκες και τοποθετημένες στον τοίχο), δεν αποτυπώνεται το πίσω μέρος των εκθεμάτων, ακολουθείται η εξής διαδικασία. Για να καλυφθεί αυτό το κενό που δημιουργήθηκε στο πίσω μέρος των εικόνων χρησιμοποιείται το Cinema 4D, όπου και τοποθετήθηκε ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο το οποίο προσαρμόστηκε στο πίσω μέρος της εικόνας (βλ. εικόνα παρακάτω) με σκοπό να δοθεί η απαραίτητη τρισδιάστατη προοπτική στα εκθέματα.



## 7. Μεθοδολογίες - Μελέτη περίπτωσης - Ψηφιοποίηση με εναέρια φωτογραμμετρία

### 7.1 Ροή εργασιών

Οι αεροφωτογραφίες αποτελούν τα πρωταρχικά δεδομένα της φωτογραμμετρίας και της τηλεπισκόπησης. Για να χαρακτηριστεί μια φωτογραφία ως αεροφωτογραφία θα πρέπει η φωτογράφιση να μην είναι επίγεια αλλά να πραγματοποιείται από ορισμένο ύψος δηλαδή η φωτογραφική μηχανή να βρίσκεται σε πλατφόρμα αερομεταφοράς που μπορεί να είναι δορυφόρος, αεροπλάνο, αερόστατο, γερανός ή σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη ΣμηΕΑ (drone).

Η μεθοδολογία που προτείνεται για αποτύπωση μεγάλης κλίμακας μνημείου ή περιοχής μικρής/μεγάλης κλίμακας, περιλαμβάνει:

- 1) τον σχεδιασμό της καταγραφής,
- 2) τον Προγραμματισμό πτήσης από ΣμηΕΑ
- 3) την συλλογή δεδομένων (λήψη κατάλληλου σετ εικόνων από το ΣμηΕΑ),
- 4) την επεξεργασία των δεδομένων,
- 5) τον έλεγχο ποιότητας και
- 6) Τη συγγραφή αναφοράς για τη συνοδεία του αρχείου της καταγραφής

### 7.2 Μεθοδολογία

Για την επιλογή μεθοδολογίας για την αποτύπωση ενός μνημείου λαμβάνεται υπόψη η τοποθεσία, η προσβασιμότητα, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του καθώς επίσης ο διαθέσιμος εξοπλισμός, προδιαγραφές ακρίβειας, ο διαθέσιμος χρόνος, οι απαιτήσεις των ζητούμενων τελικών προϊόντων κ.λ.π. Πριν ξεκινήσει η αποτύπωση, θα πρέπει να πραγματοποιείται συνάντηση με την ομάδα έργου για τον καθορισμό των απαιτήσεων. Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνεται επιτόπια αναγνώριση της περιοχής και ο προσδιορισμός του



καλύτερου χρόνου συλλογής δεδομένων για την ελαχιστοποίηση των συνθηκών που μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημα στην αποτύπωση (π.χ. συνθήκες φωτισμού, αέρας, ύπαρξη φυσικών εμποδίων) όπως κενά, θόρυβο στην αποτύπωση ή σκιές δεδομένων. Η χρήση τους σε συγκεκριμένες περιοχές (αρχαιολογικούς χώρους) προϋποθέτει την αδειοδότηση από τις αρμόδιες αρχές. Επιπλέον, η νομοθεσία επιβάλλει τη χρήση των ΣμηΕΑ μόνο από πιστοποιημένους χειριστές.

### **7.2.1 Επιλογή πτητικού μέσου**

Θα πρέπει να καθοριστεί πως θα πραγματοποιηθεί η λήψη φωτογραφιών (μέσο και αισθητήρας).

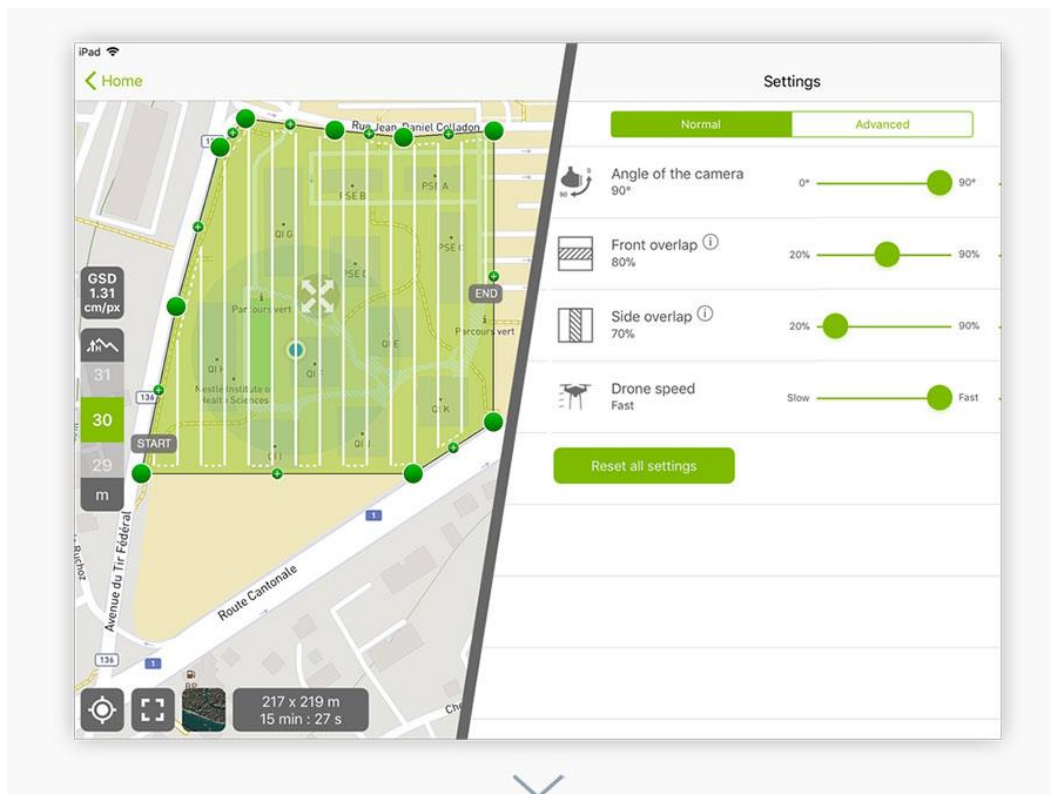
### **7.2.2 Επιλογή κατάλληλου χρονικού πλαισίου για την πτήση**

Το μειονέκτημα της μεθόδου των UAV έγκειται στο γεγονός ότι παράγοντες όπως ο καιρός-δυνατοί άνεμοι μπορούν να προκαλέσουν αστάθεια και να επηρεάσουν την ακρίβεια των μετέπειτα προϊόντων. Για το λόγο αυτό χρειάζεται να γίνει σωστός σχεδιασμός της πτήσης ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν.

### **7.2.3 Επιλογή είδους και σχεδιασμός σχεδίου πτήσεως**

Η εναέρια συλλογή δεδομένων με συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) επιτρέπει τη φωτογράφιση από οπτικές γωνίες θέασης που είναι δύσκολο ή και αδύνατο να επιτευχθούν με άλλο τρόπο. Τα ΣμηΕΑ συνοδεύονται από λογισμικό που επιτρέπει την υλοποίηση σχεδίου πτήσης πάνω σε ψηφιακό χάρτη. Το σχέδιο πτήσης μπορεί να ακολουθήσει αυτόματα το ΣμηΕΑ. Ένα σχέδιο πτήσης περιγράφει εκτός από γεωγραφικά σημεία (θέσεις) στα οποία πρέπει να βρεθεί το ΣμηΕΑ, μεταβολές στο ύψος πτήσης, σημεία στα οποία θα γίνουν οι λήψεις των φωτογραφιών, μεταβολές του οπτικού πεδίου (κατεύθυνση πτητικού μέσου και φωτογραφικής μηχανής ανεξάρτητα), καθώς και σημεία ενδιαφέροντος που θα «σημαδεύει» η φωτογραφική μηχανή αυτόματα όσο το

ΣμηΕΑ θα πετάει γύρω από αυτά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εκτέλεση του σχεδίου πτήσης πραγματοποιείται αυτόματα από το ΣμηΕΑ συμπεριλαμβανομένων και των διαδικασιών προσγειώσεων- απογειώσεων. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, στις περισσότερες περιπτώσεις, σε αυτόματη πτήση (σχέδιο πτήσης με χρήση λογισμικού οδήγησης του ΣμηΕΑ) δεν απαιτείται καμία επέμβαση από το χειριστή παρά μόνο σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Φυσικά η επίβλεψη της πτήσης από διαπιστευμένο χειριστή, σε όλη τη διάρκειά της, είναι επιβεβλημένη.



Εικόνα 27. Καθορισμός σχεδίου πτήσης και άλλων χαρακτηριστικών (κλίση κάμερας, βαθμός συσχέτισης εικόνων, ταχύτητα ΣμηΕΑ).

Η αυτοματοποίηση μίας εναέριας συλλογής δεδομένων μπορεί να υλοποιηθεί μέσα από μια σειρά εξειδικευμένων λογισμικών, τα οποία διατίθενται τόσο για σταθερά υπολογιστικά συστήματα (Mission Planner2 της Ardupilot) όσο και για έξυπνες φορητές συσκευές (Copter, DJI flight). Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα σχεδιασμού μιας αυτόματης πτήσης με ΣμηΕΑ με προκαθορισμένη διαδρομή γύρω από ένα κτήριο με στόχο να κατανοήσει ο αναγνώστης. Το παράδειγμα βασίζεται στη χρήση του λογισμικού Pix4D, διαθέσιμου για συσκευές Android και iOS. Ο σχεδιασμός της πτήσης του ΣμηΕΑ ξεκινά με

το χειριστή ΣμηΕΑ να ορίζει σε ένα ψηφιακό χάρτη τη θέση του σημείου ενδιαφέροντος καθώς και μια σειρά από σημεία από τα οποία επιθυμεί να περάσει το ΣμηΕΑ. Για κάθε ένα από τα σημεία του σχεδίου πτήσης ο χειριστής του ΣμηΕΑ μπορεί να ορίσει την ταχύτητα πτήσης, το χρόνο που επιθυμεί να κρατήσει τη συγκεκριμένη θέση το ΣμηΕΑ (GPS hold position), καθώς και άλλες παραμέτρους, όπως το αρχικό ύψος απογείωσης αλλά και τη μεταβολή του ύψος από σημείο σε σημείο (Εικόνα 40).

Οι λήψεις των φωτογραφιών γίνονται σε καθορισμένα σημεία. Αυτό επιτυγχάνεται με τρεις μεθόδους:

Διαδοχικές λήψεις σταθερού χρόνου (Time Lapse): Το ΣμηΕΑ κινείται με σταθερή ταχύτητα ως προς τον άνεμο και λαμβάνονται φωτογραφίες σε τακτά διαστήματα χρόνου ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή επικάλυψη. Στη μέθοδο αυτή η φωτογραφική μηχανή προγραμματίζεται μόνη της σε μερικές μάλιστα υλοποιήσεις φέρει και αυτόνομο GPS.

Διαδοχικές λήψεις σε σταθερές αποστάσεις (Distance Lapse): Το ΣμηΕΑ κινείται με σταθερή ταχύτητα αλλά οι λήψεις γίνονται σε σταθερές αποστάσεις από την προηγούμενη λήψη. Οι φωτογραφίες δεν έχουν στροφή ως προς τον άξονα της πτήσης. Τον έλεγχο της φωτογραφικής μηχανής αναλαμβάνει ο αυτόματος πιλότος.

Χειροκίνητη λήψη της κάθε φωτογραφίας σε συγκεκριμένες θέσεις στο χώρο: Η λύση αυτή εφαρμόζεται κυρίως από έμπειρους χρήστες ή όταν το ύψος πτήσης είναι πολύ χαμηλό, οπότε δεν μπορεί να υλοποιηθεί αυτόματα σχέδιο πτήσης για φωτογράφιση.

#### 7.2.4 Προδιαγραφές σχεδίου πτήσεως

Ο σχεδιασμός του σχεδίου πτήσης (είτε γίνεται χειροκίνητα, είτε αυτόματα) θα πρέπει να πραγματοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Την πλήρη κάλυψη του χώρου.
- Την επιλογή λήψεων σε σημεία όπου μεταξύ του αισθητήρα και του χώρου προς αποτύπωση δεν παρεμβάλλονται εμπόδια, φυσικά ή τεχνητά.
- Την επιλογή λήψεων που ελαχιστοποιούν τις «σκιές» (π.χ. κατάλληλος προσανατολισμός γωνίας λήψεως, βλ. επόμενη ενότητα).

- Τον ορθό υπολογισμό του ύψους πτήσεως, καθώς όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος από το χώρο αποτύπωσης, τόσο μειωμένη θα είναι η ανάλυση και η ακρίβεια του τελικού προϊόντος (βλ. παρακάτω την ενότητα που αφορά το μέγεθος GSD).
- Την απαραίτητη επικάλυψη μεταξύ των λήψεων, τουλάχιστον 60% μεταξύ δύο διαδοχικών εικόνων (συνίσταται μάλιστα 80%).
- Την ασφάλεια των προσωπικού, των διερχόμενων ατόμων και των οργάνων.

Σημειώνεται ότι λόγω προτεινόμενου χαμηλού ύψους πτήσεως (όχι άνω των 3 μέτρων), δεν απαιτείται άδεια από την ΥΠΑ, αρκεί να μη διέρχονται άτομα κάτωθεν της πτήσεως καθ' όλη τη διάρκειά της.

## 7.2.5 Προσανατολισμός αεροφωτογραφιών

Για τον προσανατολισμό των αεροφωτογραφιών απαιτείται η γνώση των γεωδαιτικών συντεταγμένων ευδιάκριτων σημείων, γνωστά ως φωτοσταθερά, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν αργότερα για να γίνει σύνδεση των αεροφωτογραφιών με το έδαφος. Τα φωτοσταθερά είναι σημεία τα οποία μετρούνται στο πεδίο με τοπογραφικές μεθόδους και η γνώση των γεωδαιτικών συντεταγμένων τους χρησιμεύει για να συσχετιστούν οι αεροφωτογραφίες με το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς των σημείων (απόλυτος προσανατολισμός φωτογραφιών). Τα φωτοσταθερά πρέπει να καλύπτουν όλοι την περιοχή μελέτης. Η λήψη των αεροφωτογραφιών θα πρέπει να γίνεται ώστε να έχουν κατά μήκος και κατά πλάτος επικάλυψη τουλάχιστον 60%. Επομένως περισσότερο από την μισή έκταση που καλύπτει η κάθε αεροφωτογραφία είναι κοινή με άλλη αεροφωτογραφία γνωστή ως επικαλυπτόμενη περιοχή. Είναι σημαντικό τα φωτοσταθερά να φαίνονται σε περισσότερες από μια αεροφωτογραφίες (επικαλυπτόμενη περιοχή) γιατί λειτουργούν και ως σημεία σύνδεσης μεταξύ τους και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αποκατάσταση του αντικειμένου που απεικονίζεται.

Οι αεροφωτογραφίες ανάλογα με την κλίση του οπτικού άξονα της φωτογραφικής μηχανής και της κατακόρυφου στο ίδιο σημείο διακρίνονται σε:

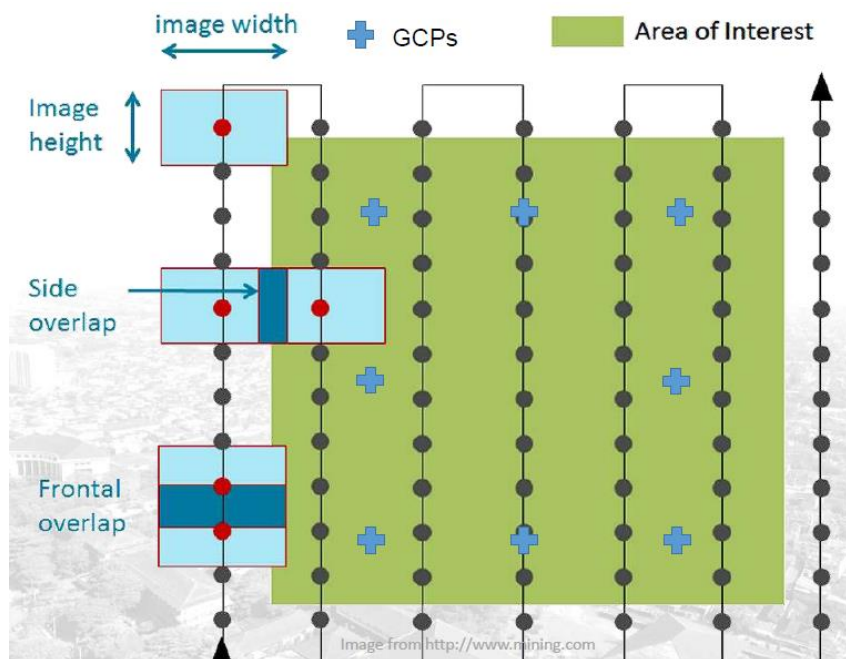
- αυστηρώς κατακόρυφες (όταν η διεύθυνση του οπτικού άξονα ταυτίζεται με την κατακόρυφο)
- κατακόρυφες (κλίση έως 5ο )
- λίγο πλάγιες (κλίση από 5ο έως 30ο )
- πλάγιες (κλίση από 30ο έως 60ο )
- πολύ πλάγιες (όταν περιλαμβάνεται ο ορίζοντας)
- οριζόντιες (οπτικός άξονας επί ορίζοντα)
- ζενίθιες (όταν ο άξονας κατευθύνεται προς το ζενίθ)

### 7.2.6 Λήψη σημείων ελέγχου

Προτείνεται η μέθοδος RTK, στην οποία χρησιμοποιούνται δύο δέκτες (base – rover), με την προϋπόθεση ότι υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των δεκτών, η οποία πραγματοποιείται είτε με κάποιο UHF modem είτε με κάποιο GSM/GPRS modem. Ο κινητός δέκτης λαμβάνει συνεχώς διορθώσεις από τη βάση, η οποία έχει γνωστές συντεταγμένες Χ,Υ,Ζ και τις χρησιμοποιεί για να επιλύσει τα σφάλματα από τις δορυφορικές λήψεις για την επίτευξη μεγαλύτερης οριζοντιογραφικής και υψομετρικής ακρίβειας, στις θέσεις μέτρησης. Με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται ακρίβεια της τάξης του εκατοστού σχεδόν σε πραγματικό χρόνο.

Κατόπιν καταγράφεται ένας πίνακας που περιλαμβάνει τα γεωδαιτικά στοιχεία όλων των σημείων ελέγχου (ή φωτοσταθερά). Η επιλογή των θέσεων φωτοσταθερών σημείων είναι πολύ σημαντική αφού πρέπει να κατανέμονται ομοιόμορφα και περιμετρικά στο block των αεροφωτογραφιών για μείωση των σφαλμάτων λόγω ακτινικών παραμορφώσεων και αύξηση της οριζόντιας ακρίβειας του απόλυτου προσανατολισμού. Προφανώς, η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να γίνει και πριν τις σαρώσεις καθώς είναι ανεξάρτητη διαδικασία.





Εικόνα 28. Παράδειγμα αυτόματου σχεδίου πτήσης με φωτοσταθερά (GCPs) και αλληλοκάλυψης εικόνων (από <http://www.mining.com>).

### 7.2.7 Γεωδαισία

Η διαδικασία της γεωαναφοράς συνίσταται στο προσανατολισμό του νέφους σημείων σε πραγματικές συντεταγμένες. Προτείνεται (όπως προαναφέρθηκε) η αποτύπωση σταθερών σημείων (στόχοι τύπου σκακιέρας) οι οποίοι θα μετρηθούν με τη μέθοδο διαφορικού εντοπισμού RTK, ώστε να τους αποδοθεί η σωστή θέση στο χώρο και κατά συνέπεια και όλου του νέφους σημείων. Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς στο οποίο προτείνεται να ενταχθεί το μοντέλο είναι αυτό που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και είναι γνωστό ως ΕΓΣΑ'87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987).

### 7.2.8 Επεξεργασία δεδομένων

Συνοπτικά, οι επιμέρους διαδικασίες που πρέπει να υλοποιηθούν είναι:

- αυτόματοι προσανατολισμοί των φωτογραφιών μέσω εντοπισμού ομόλογων χαρακτηριστικών σημείων σε όλες τις εικόνες με συνταύτιση των περιγραφών τους (descriptors)
- επίλυση αεροτριγωνισμού με εξαίρεση χονδροειδών σφαλμάτων στις μετρήσεις και ταυτόχρονη βαθμονόμηση (self-calibration)
- αυτόματη συλλογή νέφους σημείων της περιοχής μέσω αλγορίθμων πολυεικονικής συνταύτισης (local/global matching)
- απαλοιφή θορύβου και δημιουργία ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (επιφάνειας ή εδάφους)
- δημιουργία αληθούς ορθοφωτογραφίας/ορθομωσαϊκού όπου δεν εμφανίζονται οι γραμμές συρραφής (γραμμές ένωσης γειτονικών εικόνων), με ενιαία ραδιομετρία χωρίς χρωματικές και τονικές διαφορές
- δημιουργία πλήρως τρισδιάστατου μοντέλου αντικειμένου (3D τριγωνισμός) με πραγματική φωτοϋφή
- δημιουργία πλήρως τρισδιάστατου μοντέλου αντικειμένου (3D τριγωνισμός) με πραγματική φωτοϋφή

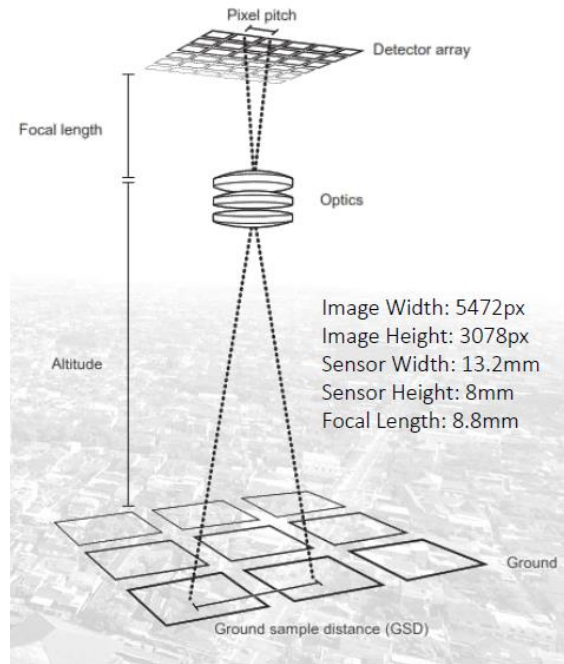
Τα παραπάνω πραγματοποιούνται από λογισμικά φωτογραμμετρίας, όπως προτάθηκαν στο Παραδοτέο Π3.1. (Pix4D ή το Agisoft Photoscan/Metashape).

### 7.2.9 Καθαρισμός

Κατά τη διάρκεια παραγωγής του 3D πλέγματος, ενδεχομένως να αποτυπωθούν σφάλματα ή αλλοιωμένη γεωμετρία του χώρου. Η επεξεργασία των δεδομένων σε αυτό το βήμα συνίσταται στη διαδικασία καθαρισμού και διόρθωσης των προβληματικών σημείων. Ο καθαρισμός του πλέγματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή φίλτρων (είναι εγκατεστημένα μέσα από το πρόγραμμα φωτογραμμετρίας). Πραγματοποιείται χειροκίνητα από τον χρήστη.

## 7.2.10 Έλεγχος ακρίβειας και πιστότητας

Το τελικό φωτογραμμετρικό προϊόν θα πρέπει να ταυτοποιηθεί με την καταγραφή του συνολικού του σφάλματος Mean Error (ME) και του μέγιστου σφάλματος που παρουσιάστηκε. Παράλληλα, θα πρέπει να υπολογιστεί και η ακρίβεια, η οποία υπολογίζεται με το μέγεθος της απόστασης δειγματοληψίας εδάφους (Ground Sampling Distance - GSD).



Εικόνα 29. Παράδειγμα υπολογισμού GSD με συγκεκριμένες τιμές για πλάτος και ύψος εικόνας, πλάτος και ύψος αισθητήρα CCD και εστιακής απόστασης (focal length).

Η απόσταση δειγματοληψίας εδάφους υπολογίζεται κατά τους δύο άξονες επιφάνειας (x και y), οπότε υπολογίζεται το GSD για την οριζόντια και κάθετη διεύθυνση (ή σε μήκος και πλάτος). Καθώς όμως τα εικονοστοιχεία (pixels) της συντριπτικής πλειοψηφίας των καμερών είναι τετραγωνικά (ίδιες διαστάσεις x και y), μας αρκεί ο υπολογισμός του GSD σε μια διεύθυνση μόνο. Σε κάθε περίπτωση η οριζόντια και η κάθετη απόσταση δειγματοληψίας εδάφους υπολογίζεται ως εξής:

$$GSD(\text{οριζόντιο}) = \frac{\text{Ύψος Πτήσης} * \text{Μήκος Αισθητήρα}}{\text{Focal Length} * \text{Μήκος Εικόνας}}$$

$$GSD(\text{κάθετο}) = \frac{\text{ΎψοςΠτήσης} * \text{ΠλάτοςΑισθητήρα}}{\text{FocalLength} * \text{ΠλάτοςΕικόνας}}$$

Για παράδειγμα, σε σχέση με την Εικόνα 42, για ύψος πτήσης 80 μέτρα, με αισθητήρα που έχει χαρακτηριστικά όπως φαίνονται σε αυτήν, το μέγεθος GSD είναι:

$$GSDh = (80000*8)/(8.8*3078) = 23.6\text{mm/px} = 2.36\text{cm/px}$$

Συνεπώς, κάθε εικονοστοιχείο στην εικόνα αναπαριστάνει 2.36 cm στο έδαφος, οπότε αυτή είναι και η ακρίβεια που επιτυγχάνεται και στο τελικό 3D μοντέλο από τη διαδικασία της φωτογραμμετρίας.

### 7.2.11 Παραγωγή ορθοφωτογραφίας

Το τελικό στάδιο για την παραγωγή της ψηφιακής ορθοφωτογραφίας, είναι η διαδικασία της ορθοαναγωγής. Η διαδικασία αυτή αποβλέπει στον μετασχηματισμό των εικόνων από τη γεωμετρία της κεντρικής προβολής σε ορθή προβολή και στη δημιουργία μιας εικόνας με ενιαία κλίμακα. Οι οριζοντιογραφικές μετατοπίσεις των αντικειμένων οι οποίες παρουσιάζονται στις αεροφωτογραφίες λόγω των προοπτικών παραμορφώσεων που προκαλούνται από την ύπαρξη υψομετρικών διαφορών, αναιρούνται με την τεχνική της ορθοαναγωγής, καθιστώντας την τελική ορθοφωτογραφία μια μετρητική, ορθή αναπαράσταση της πραγματικότητας.

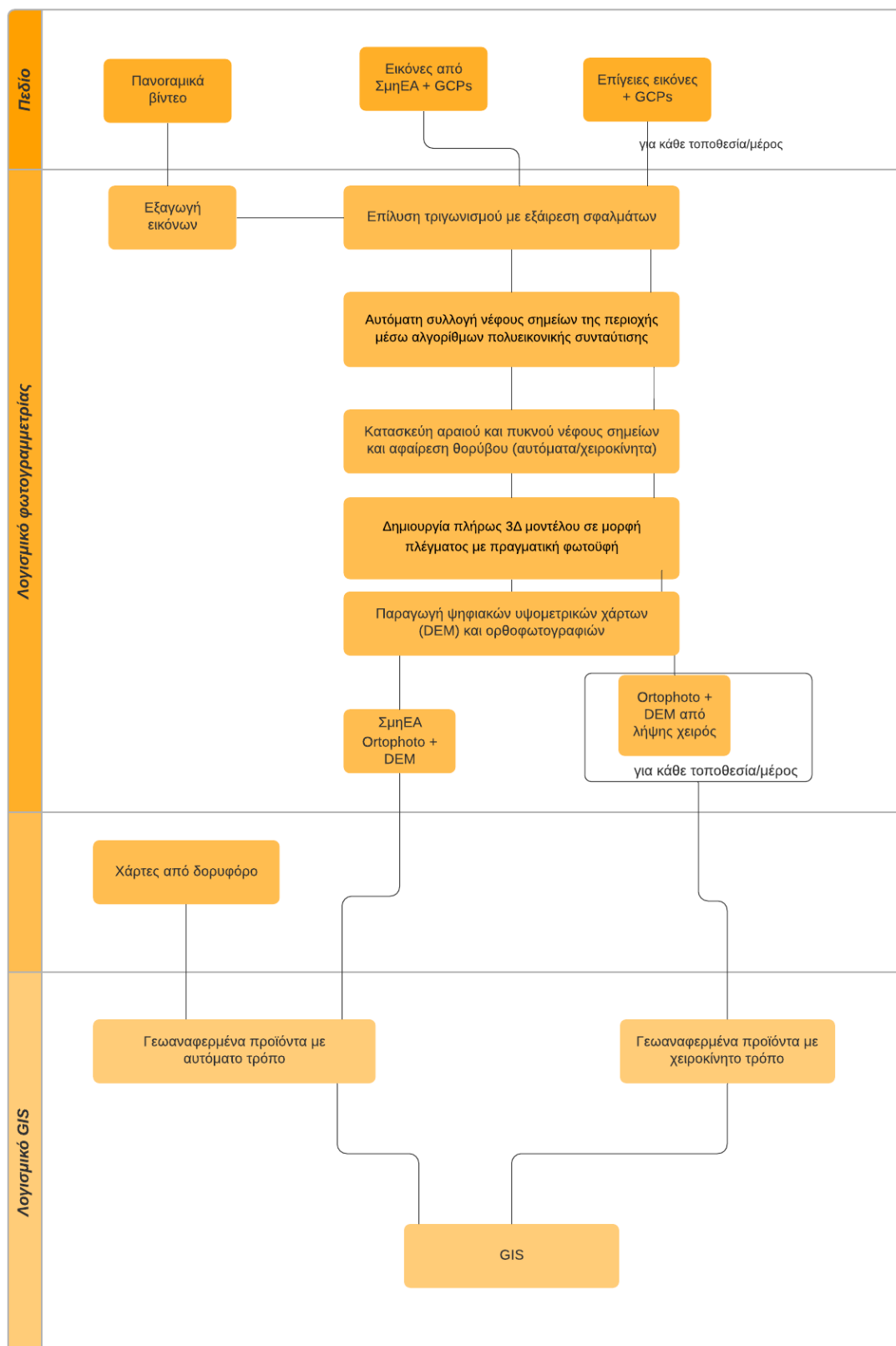
### Παραδοτέα – παράδοση αρχείων

Σε κάθε αποτύπωση, προτείνεται να συγγράφεται μια αναφορά που περιλαμβάνει όλες τις λεπτομέρειες της καταγραφής. Την αναφορά θα συνοδεύει ένα σύνολο ψηφιακών φακέλων με τα παρακάτω αρχεία:

ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΦΑΚΕΛΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Σύνολο των εικόνων	Φάκελος με το σύνολο των εικόνων

Ολοκληρωμένα projects φωτογραμμετρία	Φάκελος με το project της φωτογραμμετρίας (ανάλογα με το λογισμικό).
Νέφος Σημείων Point Cloud	Φάκελος με το ολοκληρωμένο και επεξεργασμένο νέφος σημείων της περιοχής σε μορφή .E57 ή *.txt ή *.las.
Αναφορά (Report)	Αναφορές από την ταυτοποίηση των νεφών σημείων.
Πολυγωνικά πλέγματα (Mesh Files)	Τα 3D μοντέλα σε μορφή .STL και .OBJ.
Ορθοφωτογραφία	Αποτύπωση σε ορθοχάρτες





Εικόνα 30. Συνολική ροή εργασιών για ένα έργο φωτογραμμετρίας μέσω ΣμηΕΑ.

## 8. Ψηφιοποίηση 2Δ εικόνων

Για την φωτογράφιση κειμηλίων και εκθεμάτων χρησιμοποιήθηκε η Sony Mirrorless A7 III 28-70mm. Χάρης στην συγκεκριμένη φωτογραφική μηχανή επιτυγχάνεται πολύ μεγάλη ανάλυση(6000x4000). Τα χαρακτηριστικά της κάμερας είναι τα εξής:

- Ανάλυση: 24.2 MP.
- ISO: 100 – 51200.
- Ανάλυση video: 4K.
- Ταχύτητα κλείστρου: 30 - 1/8000 sec.
- Διάμετρος Φακού σε mm: 28-70 mm.



Εικόνα 31: Sony Mirrorless A7 III 28-70mm.

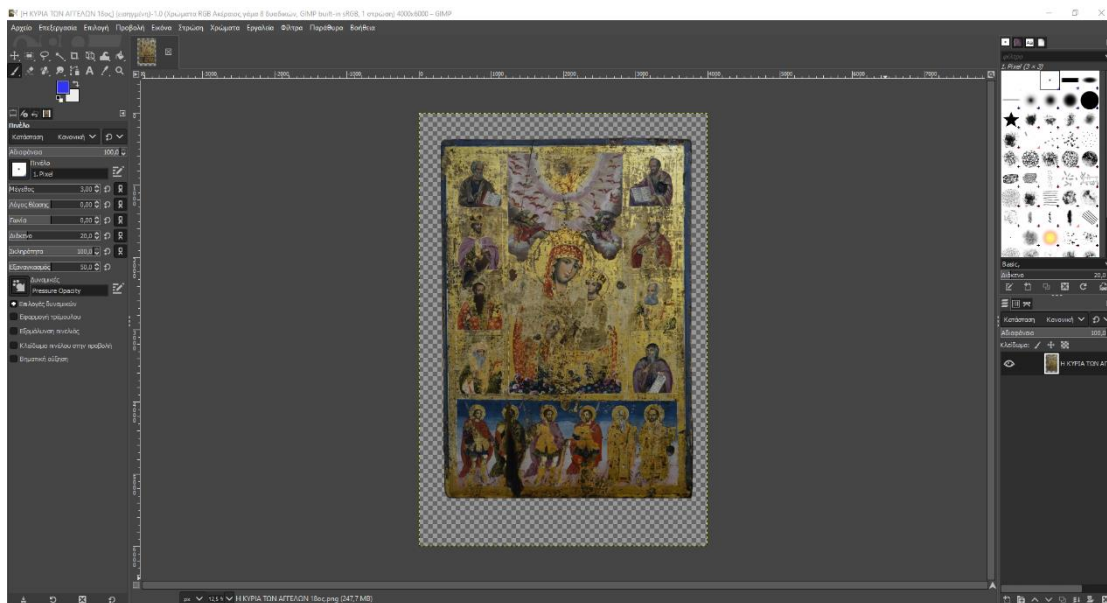
### 8.1 Προγράμματα επεξεργασίας και καθαρισμού εικόνων

#### 8.1.1 GNU Image Manipulator Program (GIMP)

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία και τον καθαρισμό των 2Δ εικόνων είναι το GIMP (<https://www.gimp.org/>). Στην εικόνα 2 έχουμε μια εικόνα η οποία «καθαρίστηκε» και επεξεργάστηκε στο συγκεκριμένο λογισμικό. Το Gimp (GNU Image

Manipulation Program) είναι ένα δωρεάν και ελεύθερο λογισμικό επεξεργασίας εικόνων. Είναι ένα εργαλείο που επικεντρώνεται κυρίως στη διαμόρφωση και την επεξεργασία εικόνας και είναι ελεύθερα διαθέσιμο σε εκδόσεις προσαρμοσμένες για τα πιο δημοφιλή λειτουργικά συστήματα όπως τα Microsoft Windows, το Mac OS X, και το GNU/Linux.

Εκτός από τη λεπτομερή επιδιόρθωση εικόνων και τη σχεδίαση ελεύθερης μορφής, το GIMP μπορεί να φέρει εις πέρας και άλλες βασικές εργασίες επεξεργασίας εικόνας, όπως η αλλαγή μεγέθους, η επεξεργασία και η «καλλιέργεια» φωτογραφιών, το φωτομοντάζ συνδυάζοντας πολλαπλές εικόνες και η μετατροπή μεταξύ διαφορετικών μορφών εικόνας.



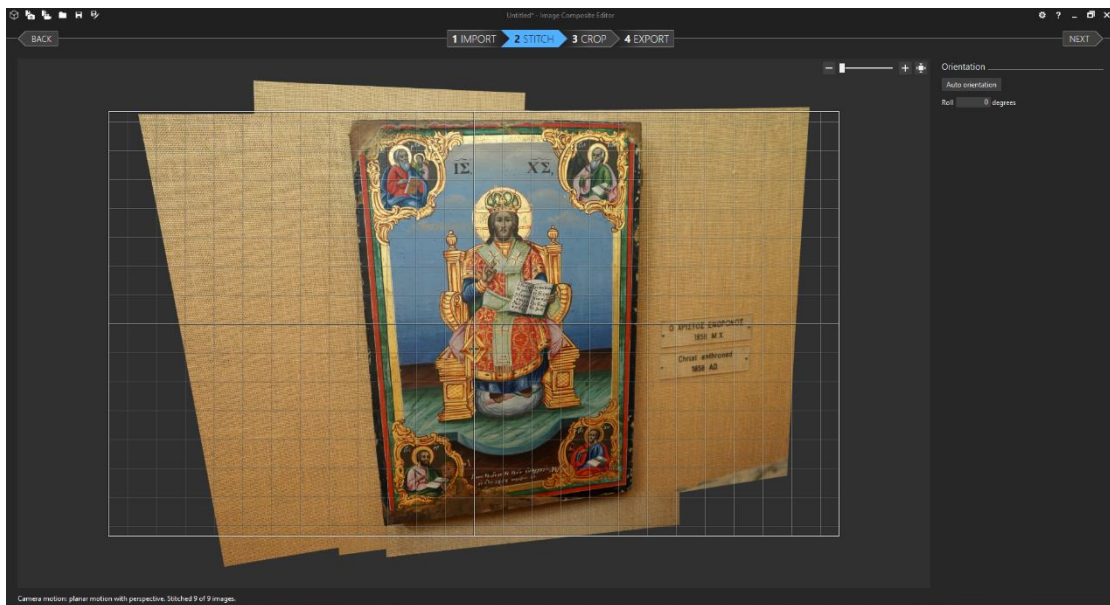
Εικόνα 32: Η ΚΥΡΙΑ ΤΩΝ ΑΓΓΕΛΩΝ 18ος

### 8.1.2 Image Composite Editor (ICE)

Για να δημιουργηθούν εικόνες υψηλής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Image Composite Editor(ICE) της Microsoft. Το link είναι το παρακάτω:

<https://www.microsoft.com/en-us/research/product/computational-photography-applications/image-composite-editor/>

Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι ένα προηγμένο λογισμικό συρραφής πανοραμικών εικόνων. Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο επικαλυπτόμενων φωτογραφιών μιας σκηνής που τραβήχτηκε από μία μόνο θέση κάμερας, η εφαρμογή δημιουργεί πανοράματα υψηλής ανάλυσης που συνδυάζουν άψογα πρωτότυπες εικόνες. Η εικόνα 3 είναι ένα παράδειγμα συρραφής εικόνων, οι οποίες εισήχθησαν στο συγκεκριμένο λογισμικό με σκοπό την δημιουργία εικόνων υψηλή ανάλυσης.



Εικόνα 33: Συρραφή εικόνων με την χρήση του λογισμικού ICE(Ο ΧΡΙΣΤΟΣ ΕΝΘΡΟΝΟΣ - 1858 Μ.Χ).

## 9. Φορητοί σαρωτές χειρός

Ένας φορητός laser scanner είναι μια συσκευή αποτύπωσης σε 3D η οποία μεταφέρεται σε οποιοδήποτε χώρο και μετακινείται για τη σάρωση ενός ακίνητου αντικειμένου ή πεδίου. Πρακτικά, όταν χρησιμοποιείται ένας σαρωτής χειρός, το αντικείμενο προς ψηφιοποίηση τοποθετείται πάνω σε έναν περιστρεφόμενο δίσκο και σαρώνεται από όλες τις γωνίες. Για μεγάλα αντικείμενα, που δεν είναι δυνατή η τοποθέτησή τους σε κάποιο αντίστοιχο δίσκο, περιστρέφεται το scanner γύρω από το αντικείμενο. Γενικά, είναι ευκολότερη η χρήση τους και προσφέρουν άνεση στον ερευνητή.

Στους τρισδιάστατους σαρωτές χειρός το σφάλμα σάρωσης, ως συνήθως, έγκειται στην κίνηση εκτός πεδίου ή στην τυχόν μετακίνηση του αντικειμένου. Ύστερα από την περιστροφή του σαρωτή γύρω από το αντικείμενο ή του αντικειμένου γύρω από τον εαυτό του οι σαρώσεις ευθυγραμμίζονται. Συνεπώς, εάν υπάρξει κάποια λανθασμένη κίνηση εκτός πεδίου, ο σαρωτής δε μπορεί να ευθυγραμμίσει ορθά τις διάφορες σαρώσεις.

Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει εισαχθεί τα τελευταία χρόνια στον χώρο των αποτυπώσεων αντικειμένων. Ο εξοπλισμός σάρωσης με λέιζερ έχει προχωρήσει σημαντικά με αυξήσεις στην ταχύτητα συλλογής δεδομένων, βελτιώσεις στην ποιότητα των δεδομένων, για παράδειγμα, μείωση του στοιχείου του θορύβου, και ανάπτυξη μεθόδων που επιτρέπουν την ταχεία έρευνα για πιο δύσκολες περιοχές χρησιμοποιώντας φορητές συσκευές.

Εταιρίες:

Εταιρία/site	Μοντέλα
Artec <a href="https://www.artec3d.com/">https://www.artec3d.com/</a>	Spider  Eva



	 <p>Micro</p>  <p>Leo</p> 
<p>Creaform</p> <p><a href="https://www.creaform3d.com/">https://www.creaform3d.com/</a></p>	<p>HandyScan</p>

	 <p>GoScan</p> 
<p>Faro</p> <p><a href="https://www.faro.com/">https://www.faro.com/</a></p>	<p>Freestyle 1</p>  <p>Freestyle 2</p>



Με τη χρήση λέιζερ για να ληφθεί το 3D σημείο, ο χειριστής μπορεί να κρατήσει τη συσκευή για να ρυθμίσει την απόσταση και τη γωνία μεταξύ του αντικειμένου που πρόκειται να μετρηθεί σε πραγματικό χρόνο. Κατά τη σάρωση μεγάλων αντικειμένων με μεγάλο όγκο, μπορεί να αξιοποιήσει σύστημα φωτογραμμετρίας για να εξαλείψει λάθη.

Γενικά, τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

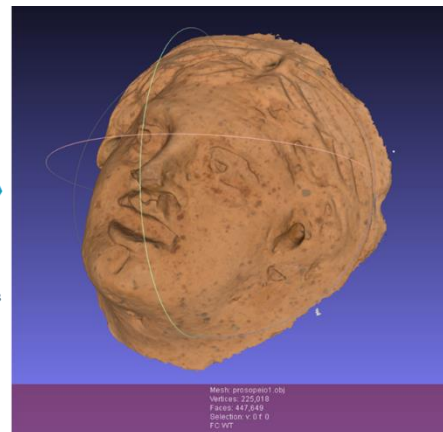
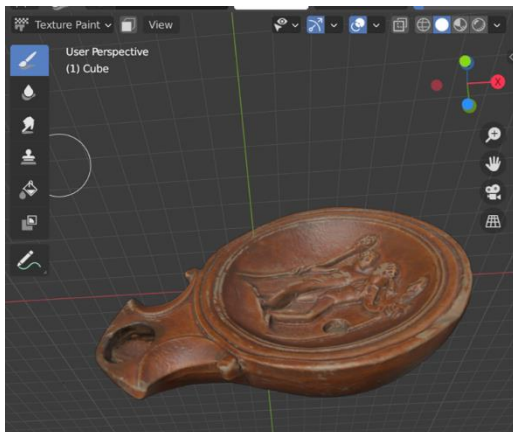
- Σαρωμένα αντικείμενα μπορούν να μετακινηθούν χωρίς καθορισμό
- Αυτόματη παραγωγή: point cloud χωρίς διαστρωμάτωση, τη δημιουργία 3D γραφικών στερεά αυτόματα
- Υψηλή ευκρίνεια
- Ισχυρή σταθερότητα
- Ευρύ φάσμα των εφαρμογών: εσωτερική και εξωτερική χρήση
- Υποστήριξη εξ αποστάσεως εργασία: χρησιμοποιώντας τη σύνδεση Gigabit Ethernet, μπορεί να υποστηρίξει απομακρυσμένη εργασία

Συνοπτικά, η ψηφιοποίηση αντικειμένων μικρού ή μεσαίου μεγέθους είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με φωτογραμμετρία ή με χρήση φορητών 3D σαρωτών. Οι διαδικασίες τις φωτογραμμετρίας ακολουθούν τις ίδιες αρχές με την ψηφιοποίηση μνημείων μεγάλης κλίμακας με περιμετρική φωτογράφιση με χρήση ψηφιακής κάμερας υψηλής ανάλυσης.

Με τη χρήση φορητών σαρωτών 3D όμως, η σάρωση πραγματοποιείται πιο γρήγορα, με εξαιρετική ακρίβεια. Από το προϊόν σάρωσης αφαιρείται θόρυβος, ενώ μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές διόρθωσης σε επίπεδο μικρής κλίμακας με εξειδικευμένα λογισμικά. Τα αποτελέσματα είναι δυνατόν να αποθηκευτούν σε μοντέλα διαφόρων αναλύσεων και ειδών αρχείων.

Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα ψηφιοποίησης κειμηλίων ή μνημείων μικρής κλίμακας. Στην εικόνα παρακάτω στα αριστερά, εμφανίζεται ένα 3D μοντέλο λύχνου με

χρήση φορητού σαρωτή χειρός μεγάλης ακρίβειας, και στα δεξιά ένα 3D μοντέλο πέτρινου προσώπου.



Παράδειγματα τρισδιάστατης ψηφιοποίησης σε αντικείμενα μικρής κλίμακας.

### 9.1.1 Παράδειγμα σάρωσης και επεξεργασία 3D μοντέλου

Στο παράδειγμα αυτό ο σαρωτής που χρησιμοποιείται είναι ο Artec Space Spider (Πίνακας 1), ο οποίος συνοδεύεται και από το δικό του λογισμικό (Artec Studio) μέσω του πραγματοποιούνται σαρώσεις των αντικειμένων καθώς και οι απαραίτητες επεξεργασίες που ακολουθούν μετά τη σάρωση των αντικειμένων/κειμηλίων.

Τεχνικά χαρακτηριστικά Artec Space Spider	
3D point accuracy, up to	0.05 mm
3D Resolution, up to	0.1 mm
3D Accuracy over distance, up to	0.05 mm + 0.3 mm/m
Hybrid geometry and texture tracking	Yes
Data processing algorithms	Geometry and texture based
Working distance	0.2 – 0.3 m
Volume capture zone	2,000 cm <sup>3</sup>
Linear field of view, HxW @ closest range	90 × 70 mm
Linear field of view, HxW @ furthest range	180 × 140 mm
Angular field of view, HxW	30 × 21°

Ability to capture texture	Yes
Texture resolution	1.3 mp
Colors	24 bpp
3D reconstruction rate for real-time fusion, up to	7.5 fps
3D reconstruction rate for 3D video recording, up to	7.5 fps
Data acquisition speed, up to	1 mln points/s
3D exposure time	0.0002 s
2D exposure time	0.0002 s
3D light source	Blue LED
2D light source	White 6 LED array

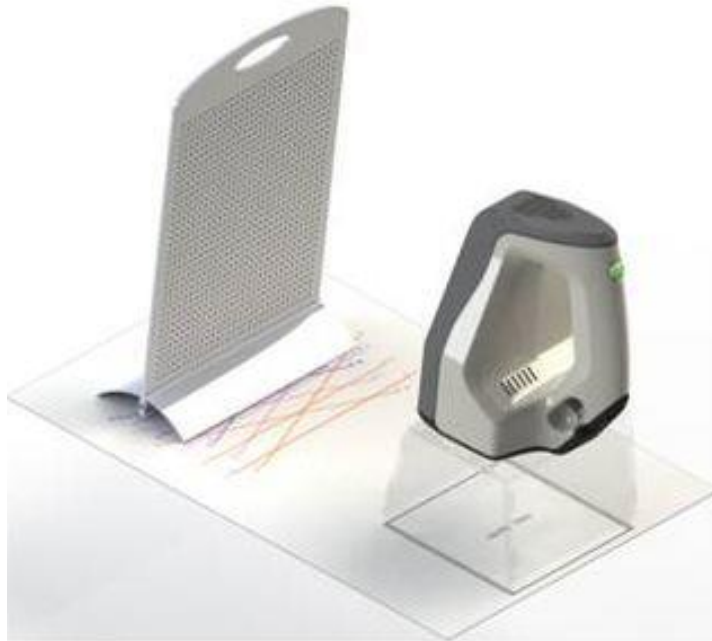
*Πίνακας 1: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Artec Space Spider.*

Το λογισμικό που αξιοποιείται είναι το Artec Studio 15<sup>1</sup>. Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι αρκετά φιλικό προς τον χρήστη και περιέχει ένα πλήθος αλγορίθμων οι οποίοι εξυπηρετούν στον βέλτιστο βαθμό την επεξεργασία που πρέπει να γίνει στις σαρώσεις των αντικειμένων.

Αρχικά πραγματοποιείται το calibration του σαρωτή και η σύνδεση του με το λογισμικό Artec Studio 15. Στην συνέχεια αφού έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς η διαδικασία του calibration μπορούμε να προχωρήσουμε στην σάρωση του αντικειμένου (Εικόνα 8). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι και αυτή που προτείνεται από την ίδια την εταιρεία με σκοπό να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

<sup>1</sup> <https://artecgroup.zendesk.com/hc/en-us/articles/207036139-Artec-Studio>





Calibration Artec Spider [<https://artecgroup.zendesk.com/hc/en-us/articles/201831651-Artec-Spider-Space-Spider-scanner-re-calibration>].

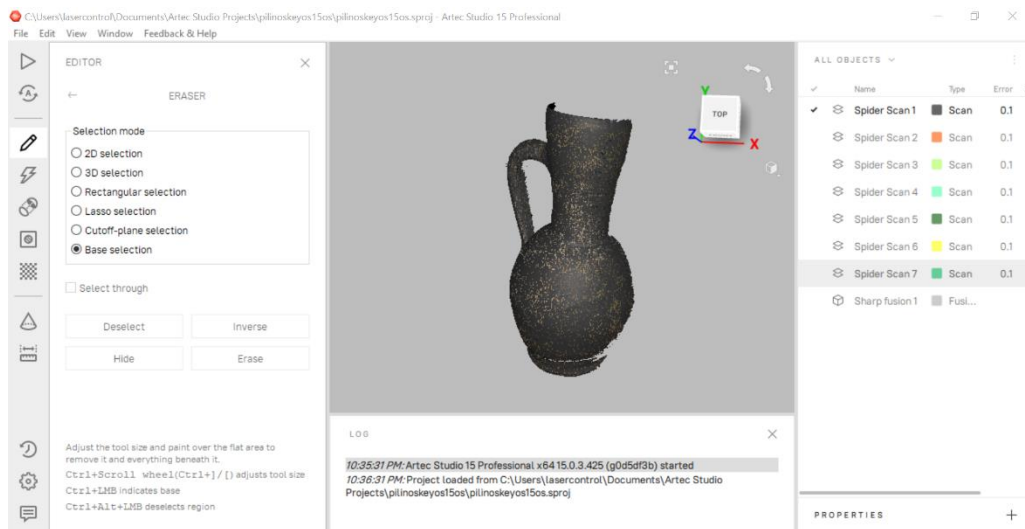
#### Παράδειγμα:

Το κάθε αντικείμενο σαρώθηκε από όλες τις πλευρές και οι ελάχιστες σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν σε ένα αντικείμενο ήταν οι 4 με μέγιστες σαρώσεις τις 10. Σκοπός ήταν καλυφθούν οι όποιες αστοχίες είχαν γίνει προηγουμένως, έτσι ώστε στο στάδιο της επεξεργασίας του αντικειμένου να μην δημιουργούνταν ιδιαίτερα προβλήματα.

Αξιοποιώντας τους αλγόριθμους που παρείχε το λογισμικό του σαρωτή δημιουργήθηκαν μοντέλα υψηλής ακρίβειας και ποιότητας. Παρακάτω παρατίθενται τα ακριβή βήματα που ακολουθήσαμε για να ολοκληρώσουμε την επεξεργασία του 3D μοντέλου το οποίο προέκυψε μέσα από τις σαρώσεις που πραγματοποιήσαμε. Τα βήματα είναι τα εξής:

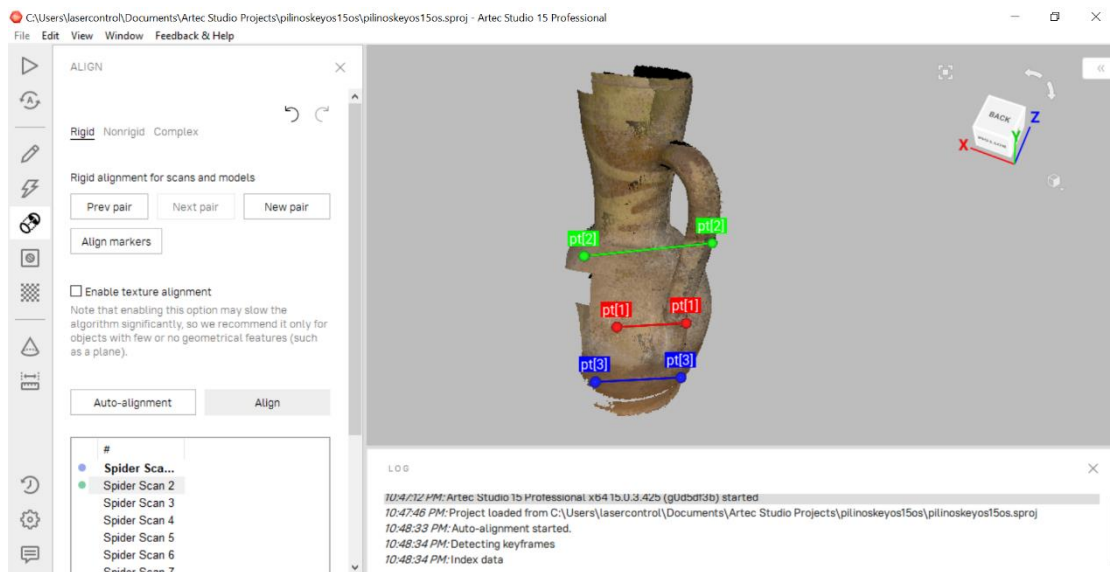
1. Fine Registration: Αρχική ευθυγράμμιση των σκαναρισμάτων που πραγματοποιήθηκαν και μείωση του σφάλματος των frames.

2. Editor: Αφαίρεση του βασικού θορύβου που προέκυψε μέσα από τα σκαναρίσματα.



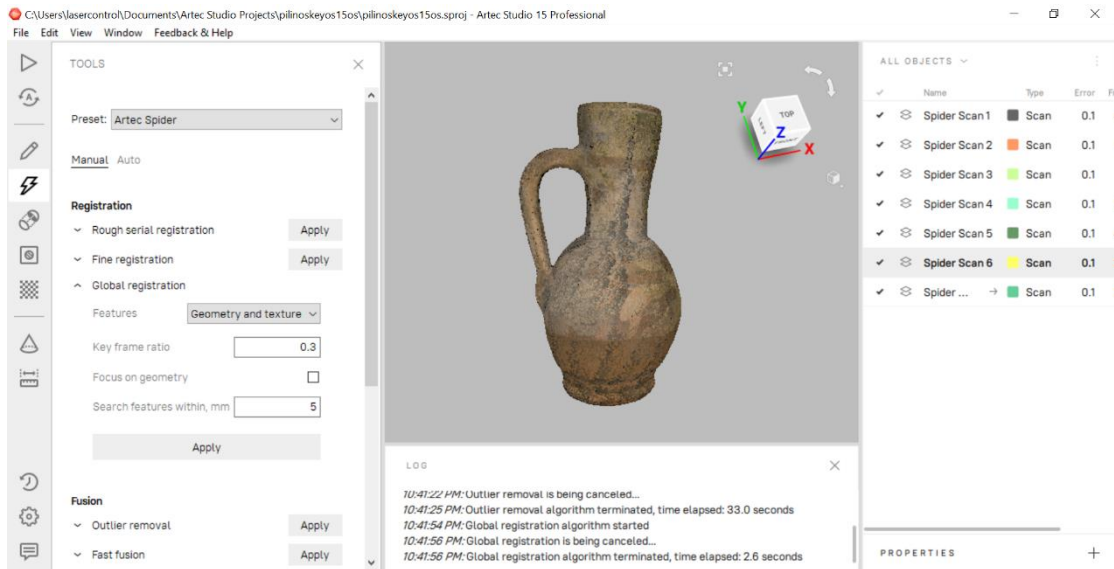
Στάδιο αφαίρεσης του βασικού θορύβου.

3. Align: Συνένωση των πολλαπλών σκαναρισμάτων με σκοπό να σχηματιστεί μια πρώτη έκδοση του μοντέλου.



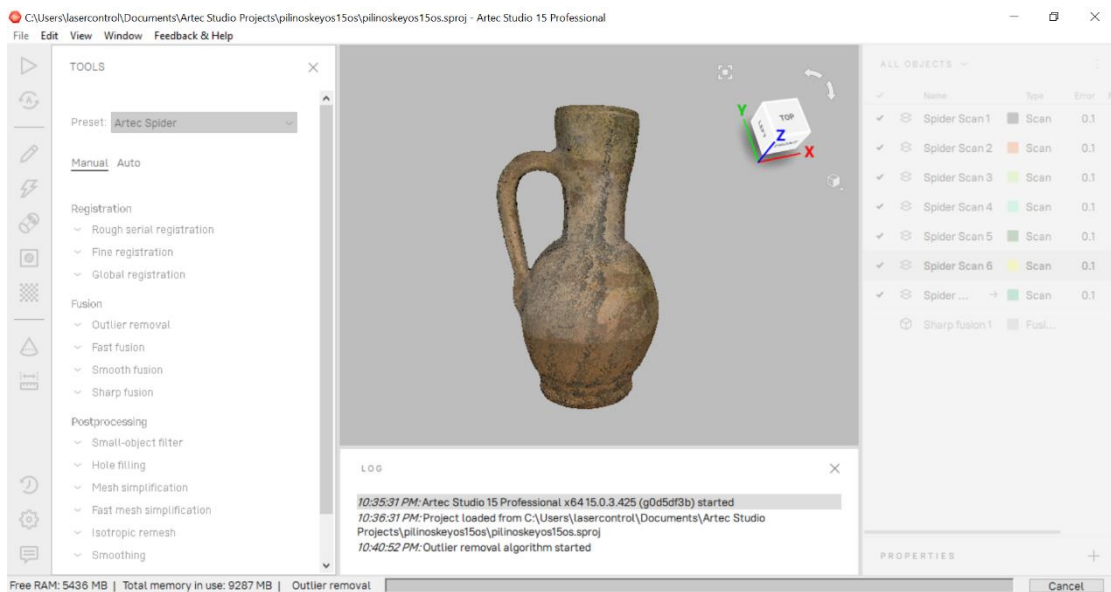
Συνένωση σκαναρισμάτων.

4. Global Registration: Ελέγχει όλα τα frames (Καρέ) από τα επιλεγμένα σκαναρίσματα με σκοπό να επιτευχθεί η απόλυτη ευθυγράμμιση μεταξύ των σκαναρισμάτων που πραγματοποιήθηκαν.



*Εφαρμογή του αλγόριθμου Global registration.*

5. Outlier removal: Αφαίρεση του υπολειπόμενου θορύβου από το τρισδιάστατο αντικείμενο.

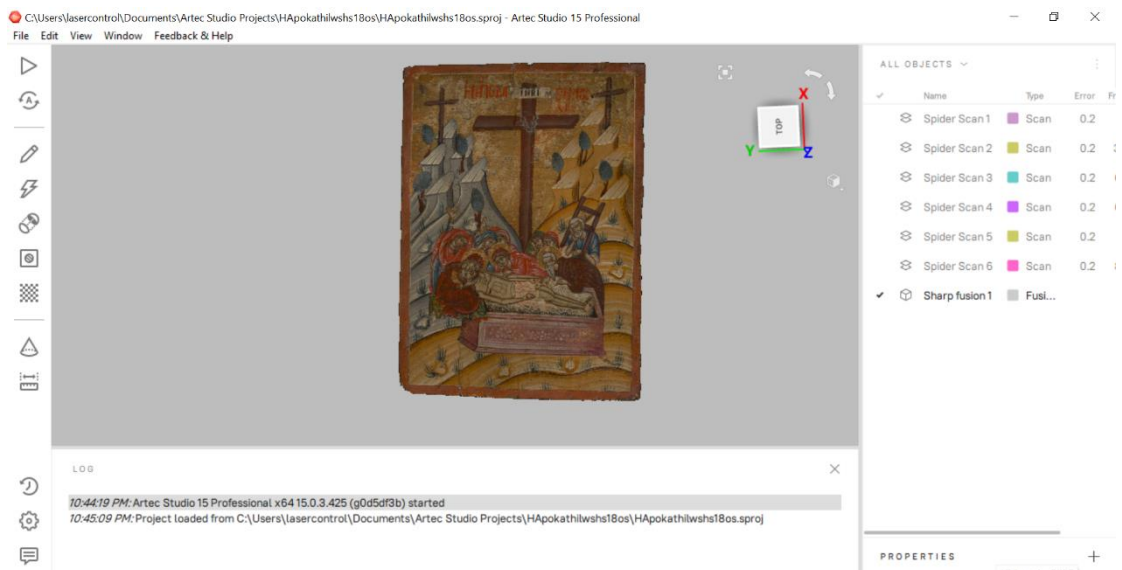
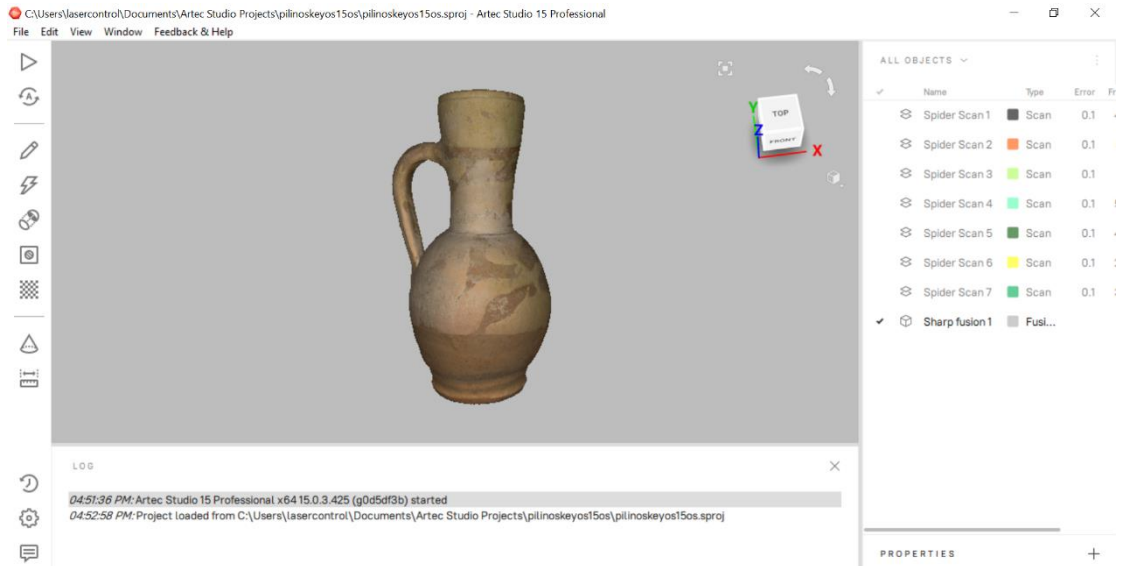


*Αφαίρεση θορύβου μέσω του αλγορίθμου Outlier removal.*

6. Sharp Fusion: Μέσω του συγκεκριμένου αλγορίθμου η επιφάνεια του αντικειμένου γίνεται πιο λεία και επίσης οι όποιες αστοχίες («τρύπες» σε σημεία που δεν θα έπρεπε να υπάρχουν) έχουν γίνει από τα αρχικά σκαναρίσματα επιδιορθώνονται σε αυτό το στάδιο.

7. Texture: Στην συγκεκριμένη ενότητα το πρόγραμμα παράγει την υφή από τα επιλεγμένα σκαναρίσματα και στην συνέχεια αυτή η υφή προσαρμόζεται στο 3D αντικείμενο.

8. Export: Εξαγωγή του τελικού μοντέλου σε μορφή .obj.



Τελικά αποτέλεσμα επεξεργασίας μέσω του Artec Studio 15 - ΠΗΛΙΝΟΝ ΣΚΕΥΟΣ 15ος ΕΚ ΤΩΝ ΑΝΑΣΚΑΦΩΝ ΑΓ. ΡΑΦΑΗΛ(πάνω) και Η Αποκαθήλωση 18<sup>ος</sup>(Κάτω).

## 10. 3D Οπτικοποίηση στο διαδίκτυο

### 10.1.1 Web Graphics Library (WebGL)

Η 3D οπτικοποίηση στο διαδίκτυο κατά κύριο λόγο γίνεται με την χρήση της βιβλιοθήκης WebGL. Η WebGL (Web Graphics Library) είναι ένα JavaScript API βάσει της γλώσσας OpenGL που χρησιμοποιείται για αναπαράσταση και απόδοση διαδραστικών 3D και 2D γραφικών σε οποιοδήποτε συμβατό περιεγνητή (web browser) χωρίς την χρήση επεκτάσεων (plug-ins). Η WebGL έχει ενσωματωθεί πλήρως σε όλα τα web πρότυπα του προγράμματος περιήγησης, επιτρέποντας στη GPU να κάνει χρήση της φυσικής, της επεξεργασίας εικόνας και κάποιων εφέ ως μέρος του καμβά ιστοσελίδας. Τα στοιχεία της WebGL μπορούν να αναμιχθούν με άλλα στοιχεία HTML και με άλλα τμήματα της σελίδας ή του φόντου της σελίδας. Τα WebGL προγράμματα αποτελούνται από κώδικα γραμμένο σε JavaScript και από κώδικα (shader) που εκτελείται στην μονάδα επεξεργασίας γραφικών του υπολογιστή (GPU). Η WebGL έχει σχεδιαστεί και συντηρείται από το μη κερδοσκοπικό Khronos Group .

Πρέπει να σημειωθεί ότι η WebGL υποστηρίζεται από συγκεκριμένους περιηγητές (browsers) που έχουν κάποιες επεκτάσεις (plug-ins). Περιηγητές τελευταίας τεχνολογίας που υποστηρίζονται είναι οι Firefox 4+, Google Chrome 9+, Opera 12+, Safari 5.1+, Internet Explorer 11+ και Microsoft Edge.

Σημαντικό είναι ότι η WebGL είναι μέρος της οικογένειας τεχνολογιών HTML5 συμπεριλαμβάνοντας και την JavaScript. Αν και δεν είναι στην επίσημη προδιαγραφή, αυτό αποστέλλεται μαζί με τα περισσότερα προγράμματα περιήγησης που υποστηρίζουν HTML5. Η WebGL είναι ένα βασικό συστατικό σε μια αναδυόμενη σουίτα που μεταμορφώνει ένα πρόγραμμα περιήγησης σε μια πλατφόρμα εφαρμογών που υποστηρίζει 3D γραφικά.

Για να ενταχθεί η WebGL σε μια ιστοσελίδα προϋποθέτει συγκεκριμένα βασικά βήματα :

- Δημιουργία του στοιχείου canvas (καμβάς)
- Δημιουργία ειδική γραφική επιφάνεια καμβά
- Αρχικοποίηση περιοχής θέασης πολυγώνων για τα γραφικά υπολογιστών
- Δημιουργία buffers
- Δημιουργία πινάκων μετασχηματισμού
- Δημιουργία shaders για την υλοποίηση του αλγορίθμου σχεδίασης
- Αρχικοποίηση των shaders με την χρήση παραμέτρων
- Τελική σχεδίαση

Η υποστήριξη από τους κοινούς φυλλομετρητές όλο και αυξάνεται και έχει επιτευχθεί καθολική υποστήριξη εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας σε πλατφόρμες έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Όσον αφορά στα συστήματα εικονικής πραγματικότητας που



βασίζονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, η υποστήριξή τους δεν έχει τελειοποιηθεί και είναι ακόμη σε ερευνητικό στάδιο. Όλα τα παραπάνω καθίστανται εφικτά με τη βοήθεια της έτοιμης βιβλιοθήκης προγραμματισμού η οποία είναι προσβάσιμη μέσω της γλώσσας Javascript. Ουσιαστικά αυτή η βιβλιοθήκη δίνει πρόσβαση στους πόρους του συστήματος του χρήστη, είτε είναι ηλεκτρονικός υπολογιστής είτε έξυπνο κινητό τηλέφωνο, με σκοπό μια βελτιωμένη απεικόνιση γραφικών. Βέβαια, ό,τι περιγράφηκε παραπάνω, παρέχει την υπολογιστική ισχύ που χρειάζεται για να τρέξει μια εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας σε φυλλομετρητή. Για την ανάπτυξη, τέτοιων εφαρμογών υπάρχουν διαδικτυακά εργαλεία σε μορφή ιστοσελίδων τα οποία προσφέρουν κάποιες απλοποιημένες δυνατότητες δημιουργίας και επεξεργασίας εφαρμογών σε σχέση με αυτές των ολοκληρωμένων λογισμικών. Συμβιβασμοί σε αυτή την περίπτωση γίνονται και στην ποιότητα του αποτελέσματος αλλά και στην ποσότητα της πληροφορίας και της διαδραστικότητας που προσφέρει. Βασική βιβλιοθήκη πάνω στην οποία αναπτύσσονται όλες οι διαδικτυακές εφαρμογές είναι η THREE.JS σε γλώσσα Javascript η οποία παρέχει τα εργαλεία για την δημιουργία μιας εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας σε περιβάλλον φυλλομετρητή. Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη παρέχει και γραφικό περιβάλλον ανάπτυξης, πέρα από το περιβάλλον κώδικα, το οποίο φαίνεται παρακάτω

### 10.1.2 X3DOM/X3D

Το X3D προτάθηκε από το Web3D Consortium, μια μη κερδοσκοπική οργάνωση η οποία είναι ένας συνδυασμός από επιχειρηματικές εταιρείες, κυβερνητικούς οργανισμούς, ακαδημαϊκά ιδρύματα, και ελεύθερους επαγγελματίες. Έχει εγκριθεί επίσημα από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) ως το πρότυπο ISO/IEC 19775, από το 2004. Το X3D είναι σύγχρονος απόγονος της VRML, περιλαμβάνει όχι μόνο τις δυνατότητες της VRML, αλλά κυριαρχεί και σε διάφορες πτυχές. Ειδικότερα, χρησιμοποιεί την XML για να εκφράσει τη γεωμετρία και την ενσωματώνει απλά με άλλες εφαρμογές. Επιπλέον, είναι οργανωμένο σε λογικές ομάδες λειτουργικότητας (components), τα οποία θα μπορούσαν να επεκταθούν και να εμπλουτιστούν με νέα. Αντίστοιχα, οι εφαρμογές X3D είναι αξιόπιστες και προβλέψιμες, ομοίως η δυαδική μορφή του X3D παρέχει κρυπτογράφηση και συμπίεση [18]. Για τους παραπάνω λόγους, το X3D έχει γίνει πιο ελκυστικό και αποτελεσματικό από την VRML. Από τη μία πλευρά, το X3D έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε HTML5, προκειμένου να δηλώσουμε τους κόσμους web 3D. Από την άλλη πλευρά, δεν αντιμετωπίζει το πρόβλημα της σύνδεσης μεταξύ του web-browser στο προσκήνιο και του X3D στο παρασκήνιο. Το X3DOM έρχεται για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα. Είναι ένα πλαίσιο, το οποίο ενσωματώνει ένα σύνολο από τεχνολογίες όπως το X3D, WebGL, HTML, CSS και JavaScript. Ο κύριος στόχος είναι η ανάπτυξη μιας σκηνής X3D με τη χρήση της HTML DOM και τη διαχείριση του 3D περιεχομένου μέσα από τα στοιχεία DOM χωρίς επιπλέον πρόσθετα. Εξίσου σημαντική είναι η ικανότητα του X3DOM, ως πλαίσιο JavaScript, για να επιτρέψει τρεις αλληλεπιδράσεις, η πρώτη είναι ένα γεγονός στη σκηνή που προκαλεί μια συμπεριφορά στη σκηνή. Η δεύτερη είναι ένα γεγονός στη σκηνή που προκαλεί μια



συμπεριφορά στην HTML5. Η τελευταία είναι ένα γεγονός στην HTML5 που προκαλεί μια συμπεριφορά στην σκηνή. Οι παρούσες ερευνητικές προσπάθειες επικεντρώνονται στην ανάπτυξη διαδραστικών εικονικών κόσμων του Web 3D, με βάση το X3DOM.

### 10.1.3 JanusVR

Ξεχωριστή κατηγορία αποτελεί το εργαλείο JanusVR όπου πρόκειται ουσιαστικά για ένα τρισδιάστατο φυλλομετρητή διαδικτύου με δυνατότητα πλοήγησης στις κλασικές δισδιάστατες ιστοσελίδες αλλά και σε τρισδιάστατες που μπορούν να δημιουργηθούν μέσω αυτού. Το συγκεκριμένο εργαλείο υποστηρίζει και τα βασικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας υψηλού κόστους και υποστηρίζει την δημιουργία και επεξεργασία εφαρμογών σε άμεσο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Επίσης, υποστηρίζει και την δικτύωση πολλών χρηστών του εργαλείου σε ένα εικονικό δωμάτιο ώστε να δουλεύουν μαζί ή/και να λύνουν προβλήματα μαζί. Ουσιαστικά, βασίζεται σε έτοιμες βιβλιοθήκες προγραμματισμού φτιαγμένες ειδικά για αυτό και λειτουργεί με την νοοτροπία της παρακάτω εικόνας με σκοπό την προσπέλαση του διαδικτύου.



Εικόνα 34. Janus VR page

### 10.1.4 Διαδικτυακές πλατφόρμες για οπτικοποίηση 3D μοντέλων

Υπάρχουν πολλές διαδικτυακές πλατφόρμες για οπτικοποίηση 3D μοντέλων όπως φαίνεται στον πίνακα παρακάτω. Οι πλέον διαδεδομένες είναι οι Sketchfab, Turbosquid, 3DWarehouse, Libre3D και p3d.

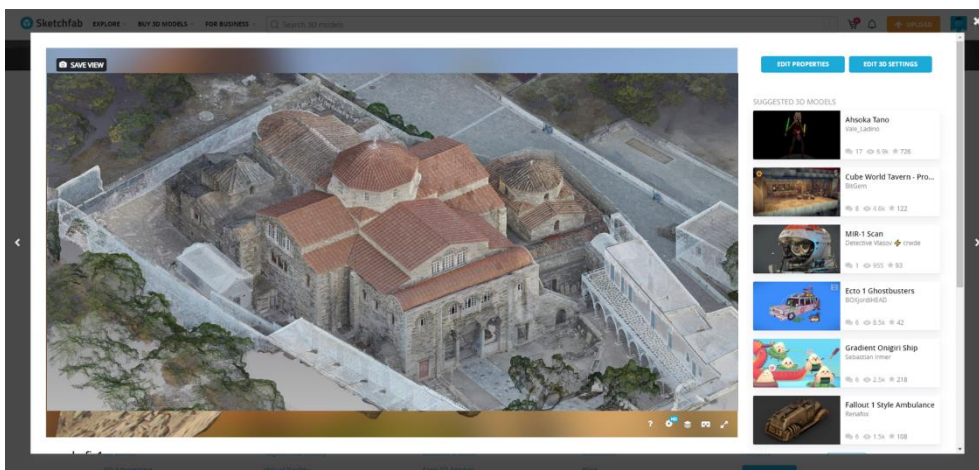
Πλατφόρμα	Ιστότοπος
Thingiverse	<a href="https://www.thingiverse.com">https://www.thingiverse.com</a>
Grabcad	<a href="https://grabcad.com">https://grabcad.com</a>
p3d	<a href="https://p3d.in/">https://p3d.in/</a>
Sketchfab	<a href="https://sketchfab.com">https://sketchfab.com</a>
Autodesk 123d	<a href="https://www.123dapp.com">https://www.123dapp.com</a>
CGTrader	<a href="https://www.cgtrader.com">https://www.cgtrader.com</a>
My Mini Factory	<a href="https://www.myminifactory.com">https://www.myminifactory.com</a>
Yeggi	<a href="https://www.yeggi.com">https://www.yeggi.com</a>
Pinshape	<a href="https://pinshape.com">https://pinshape.com</a>
XYZprinting 3D Gallery	<a href="https://us.gallery.xyzprinting.com">https://us.gallery.xyzprinting.com</a>
Dremel Idea Builder	<a href="https://3dprinter.dremel.com">https://3dprinter.dremel.com</a>
YouMagine	<a href="https://www.youmagine.com">https://www.youmagine.com</a>
Yobi3D	<a href="https://www.yobi3d.com">https://www.yobi3d.com</a>
STL Finder	<a href="https://www.stlfinder.com">https://www.stlfinder.com</a>
3DExport	<a href="https://3dexport.com">https://3dexport.com</a>
Cults	<a href="https://cults3d.com">https://cults3d.com</a>
Zortrax Library	<a href="https://library.zortrax.com">https://library.zortrax.com</a>
New Matter	<a href="https://store.newmatter.com">https://store.newmatter.com</a>
Rinkak	<a href="https://www.rinkak.com">https://www.rinkak.com</a>
3DShook	<a href="https://www.3dshook.com">https://www.3dshook.com</a>
Threeding	<a href="https://www.threeding.com">https://www.threeding.com</a>
Repables	<a href="https://repables.com">https://repables.com</a>
Libre3D	<a href="https://libre3d.com">https://libre3d.com</a>
3Dagogo	<a href="https://www.3dagogo.com">https://www.3dagogo.com</a>
Shapetizer	<a href="https://www.shapetizer.com">https://www.shapetizer.com</a>
The Forge	<a href="https://zheng3.com">https://zheng3.com</a>
Redpah	<a href="https://www.redpah.com">https://www.redpah.com</a>
Trinpy	<a href="https://www.trinpy.com">https://www.trinpy.com</a>
Polar Cloud	<a href="https://cloud.polar3d.com">https://cloud.polar3d.com</a>
3D Warehouse	<a href="https://3dwarehouse.sketchup.com">https://3dwarehouse.sketchup.com</a>
STLHive	<a href="https://www.stlhive.com">https://www.stlhive.com</a>
NASA	<a href="https://nasa3d.arc.nasa.gov">https://nasa3d.arc.nasa.gov</a>
NIH 3D Print Exchange	<a href="https://3dprint.nih.gov">https://3dprint.nih.gov</a>
Instructables	<a href="https://www.instructables.com">https://www.instructables.com</a>
TurboSquid	<a href="https://www.turbosquid.com">https://www.turbosquid.com</a>
3D File Market	<a href="https://www.3dfilemarket.com">https://www.3dfilemarket.com</a>
Gambody	<a href="https://www.gambody.com">https://www.gambody.com</a>
MakerShop	<a href="https://www.makershop.co">https://www.makershop.co</a>
Shapeking	<a href="https://www.shapeking.com">https://www.shapeking.com</a>

The Forge

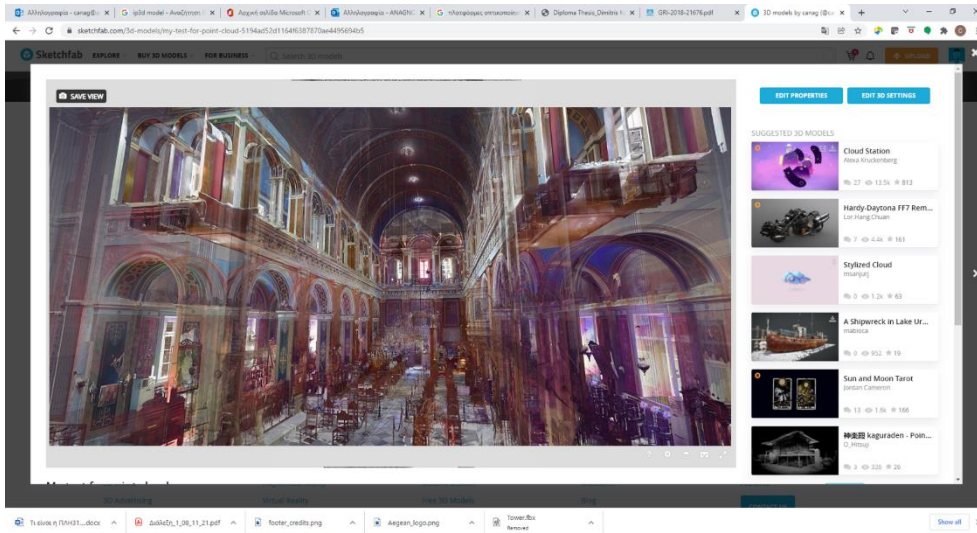
<https://forge.zheng3.com>



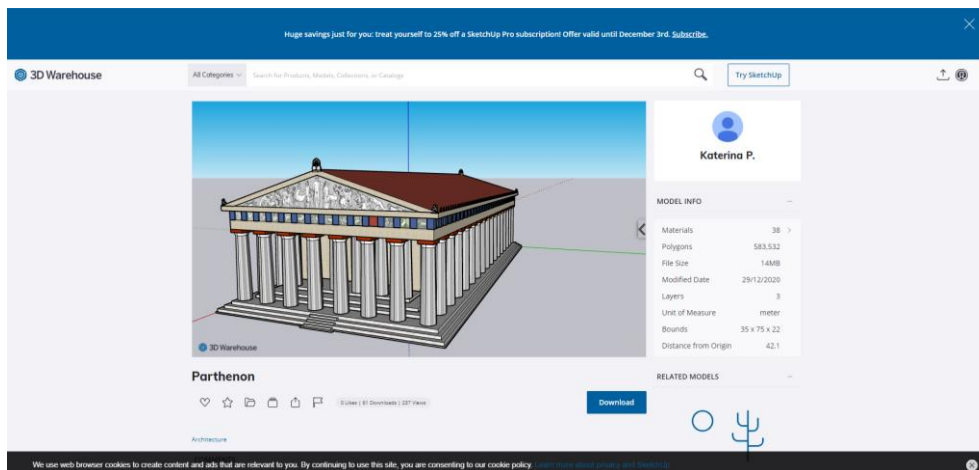
Εικόνα 35. P3D



Εικόνα 36. Sketchfab, αρχείο πλέγματος από φωτογραμμετρία.



Εικόνα 37. Sketchfab, αρχείο point cloud



Εικόνα 38. 3D Warehouse, αρχείο από 3D σχεδίαση.

## 11. Ψηφιοποίηση έντυπου υλικού (χειρογράφων, παλαιτύπων)

### 11.1 Σάρωση υλικού Λυτών Εγγράφων

Κατά την διαδικασία αυτή θα εκτελεστεί η σάρωση των λυτών εγγράφων. Οι προδιαγραφές και ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθούν κατά την σάρωση (βάθος χρώματος, τύπος αρχείων, ανάλυση, σαρωτές, ονοματολογία παραγομένων αρχείων κ.λ.π).

Λυτά έγγραφα είναι και τα εξής:

- Λευκές σελίδες σαρώνονται στις εξής περιπτώσεις:
- Τελευταία σελίδα του εγγράφου
- Πίσω όψη έντυπης σελίδας
- Διπλωμένα έγγραφα που έχουν χρησιμοποιηθεί ως ταχυδρομικοί φάκελοι, σαρώνονται ανοικτοί.
- Τετράπτυχα σαρώνονται ως ένα αρχείο ανά πτυχή, εφόσον η φορά της γραφής είναι από επάνω προς τα κάτω ανά πτυχή. Διαφορετικά σαρώνονται ως δυο αρχεία (ένα ανά όψη).
- Εφόσον η ράχη εντύπου είναι γραμμένη, σαρώνεται και αυτή ως ξεχωριστό αρχείο.
- Κατά την διαδικασία της σάρωσης τα παραγόμενα ψηφιακά ανάτυπα δεν θα τυγχάνουν επεξεργασίας, προκειμένου να διατηρηθεί η πρωτότυπη τους μορφή.

Το κύριο προϊόν της διαδικασίας ψηφιοποίησης θα είναι τα ψηφιακά υποκατάστατα σε υψηλή ανάλυση. Μετά από τη δημιουργία τους από τον σαρωτή θα αποθηκεύονται σε αρχεία τύπου TIFF με διάσταση, ανάλυση και βάθος χρώματος ίδιο με αυτό που έγινε η ψηφιοποίηση.

Προκειμένου να μειωθούν οι ανάγκες σε αποθηκευτικό χώρο προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος συμπίεσης JPEG.

### 11.2 Σάρωση Υλικού Βιβλιοδετημένων Εγγράφων

Κατά την διαδικασία αυτή θα εκτελεστεί η σάρωση των βιβλιοδετημένων εγγράφων. Οι προδιαγραφές και ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθούν κατά την σάρωση (βάθος χρώματος, τύπος αρχείων, ανάλυση, σαρωτές, ονοματολογία παραγομένων αρχείων κ.λ.π).

Το κύριο προϊόν της διαδικασίας ψηφιοποίησης θα είναι τα ψηφιακά υποκατάστατα σε υψηλή ανάλυση. Μετά από τη δημιουργία τους από τον σαρωτή και την επεξεργασία τους θα αποθηκεύονται σε αρχεία τύπου TIFF με διάσταση, ανάλυση και βάθος χρώματος ίδιο

με αυτό που έγινε η ψηφιοποίηση. Προκειμένου να μειωθούν οι ανάγκες σε αποθηκευτικό χώρο προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος συμπίεσης JPEG.

### **11.3 Σάρωση Υλικού Διαγραμμάτων και Χαρτών**

Κατά την διαδικασία αυτή θα εκτελεστεί η σάρωση των διαγραμμάτων και χαρτών.

Οι προδιαγραφές και ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθούν κατά την σάρωση (βάθος χρώματος, τύπος αρχείων, ανάλυση, σαρωτές, ονοματολογία παραγομένων αρχείων κ.λ.π.).

Κατά την διαδικασία της σάρωσης τα παραγόμενα ψηφιακά ανάτυπα θα τυγχάνουν επεξεργασίας, προκειμένου να βελτιωθεί η εμφάνισή τους. Η επεξεργασία αυτή θα περιλαμβάνει εργασίες αποπλαισίωσης (εκκαθάριση γραμμών, στιγμάτων και άλλων περιττών λεπτομερειών που δημιουργήθηκαν κατά τη σάρωση), διόρθωση της αντίθεσης (contrast), διόρθωση της κλίσης της εικόνας κλπ.

Αποτελέσματα της επεξεργασίας θα είναι:

- Διόρθωση των χρωμάτων ώστε να προσομοιώνουν ακριβέστερα στο πρωτότυπο.
- Αποκοπή των περιθωρίων γύρω από το τεκμήριο.
- Αλλαγή προσανατολισμού, όταν απαιτείται.

Το κύριο προϊόν της διαδικασίας ψηφιοποίησης θα είναι τα ψηφιακά υποκατάστατα σε υψηλή ανάλυση. Μετά από τη δημιουργία τους από τον σαρωτή και την επεξεργασία τους θα αποθηκεύονται σε αρχεία τύπου TIFF με διάσταση, ανάλυση και βάθος χρώματος ίδιο με αυτό που έγινε η ψηφιοποίηση.

Προκειμένου να μειωθούν οι ανάγκες σε αποθηκευτικό χώρο προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος συμπίεσης JPEG.

### **11.4 Δημιουργία Ψηφιακών Υποκατάστατων και Αντιγράφων**

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής για κάθε ψηφιακό ανάτυπο που θα έχει παραχθεί από την προηγούμενη διαδικασία σάρωσης θα δημιουργούνται άλλες δυο εκδοχές του: μια εικόνα κατάλληλη για πρόσβαση από το διαδίκτυο και μια εικόνα σε σμίκρυνση για προεπισκόπηση.



## 11.5 Εσωτερικός Ποιοτικός Έλεγχος Ταξινόμησης και Ψηφιοποίησης

Ο έλεγχος αυτός θα αφορά την ορθή σάρωση του αρχειακού υλικού και θα γίνεται από τον Υπεύθυνο της ποιότητας ψηφιοποίησης της ομάδας του Εργαστηρίου.

Σε περίπτωση που ο έλεγχος είναι επιτυχής το αρχειακό υλικό θα παραδίδεται στην ομάδα του Εργαστηρίου προκειμένου να ταξινομηθεί και να ψηφιοποιηθεί.

Σε περίπτωση που κατά τον έλεγχο κάποιας παρτίδας εγγράφων εμφανιστούν λάθη και ο υπεύθυνος ποιότητας κρίνει ότι το ψηφιοποιημένο υλικό δεν είναι κατάλληλο να δοθεί για Έλεγχο Αποδοχής τότε θα διενεργούνται διορθωτικές ενέργειες και ο έλεγχος θα επαναλαμβάνεται.

## 11.6 Έλεγχος αποδοχής ορθής Ταξινόμησης & Ψηφιοποίησης

Ο Έλεγχος Αποδοχής θα εκτελείται τουλάχιστον δυο (2) φορές κάθε ημερολογιακό μήνα από τον υπεύθυνο της ομάδας του Εργαστηρίου.

Ο Έλεγχος Αποδοχής θα αφορά μόνο το αντικείμενο της ψηφιοποίησης και ΔΕΝ θα συνδυάζεται με οποιαδήποτε άλλο Έλεγχο Αποδοχής που θα αφορά το υπόλοιπο έργο.

## 11.7 Πρόσκληση προς έλεγχο αποδοχής

Ο υπεύθυνος ψηφιοποίησης θα ενημερώνει εγγράφως για τα στοιχεία της παρτίδας τον εκπρόσωπο της Ιεράς Μητρόπολης ως ιδιοκτήτη του υλικού προς ψηφιοποίηση. Κάθε παρτίδα θα αποτελείται από ένα αριθμό ολοκληρωμένων στοιχείων. Τα στοιχεία τα οποία θα αναφέρονται είναι τα εξής:

- Ημερομηνία
- Α/Α Ελέγχου
- Λίστα με έγγραφα που περιλαμβάνει η παρτίδα (από – έως)
- Συνολικός αριθμός εγγράφων που περιλαμβάνει η παρτίδα

Θα έχει την εξής μορφή:

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣ ΕΛΕΓΧΟ	
Ημερομηνία :	Α/Α Ελέγχου:

Τύπος Υλικού (Λυτές Σελίδες/ Δεμένα Έγγραφα/ Διαγράμματα)	Περιγραφή Υλικού	Α/Α ΑΠΟ	Α/Α ΕΩΣ	Συνολικός Αριθμός Σελίδων/ Διαγραμμάτων

Ο υπεύθυνος ψηφιοποίησης θα είναι υποχρεωμένος εντός 15 ημερών από την στιγμή που θα πάρει την πρόσκληση να ολοκληρώσει την διαδικασία ελέγχου και να εκδώσει αντίστοιχο πρωτόκολλο αποδοχής της παρτίδας.

- **Περιοδικότητα Ελέγχων Αποδοχής**

Ο Έλεγχος Αποδοχής προτείνεται να εκτελείται τουλάχιστον δυο (2) φορές το μήνα.

- **Προσδιορισμός και Κριτήρια Επιλογής Δείγματος**

Σαν δείγμα για τον Έλεγχο Αποδοχής ορίζεται το 3-5% των δειγμάτων επί του συνολικού αριθμού των εγγράφων της συγκεκριμένης παρτίδας.

- **Κριτήρια και Στόχοι Ελέγχων – Ελάχιστα Αποδεκτά Επίπεδα Ποιότητας**

Ο Έλεγχος Αποδοχής θα εξετάζει τα παρακάτω κριτήρια:

Για κάθε ψηφιοποιημένη σελίδα του δείγματος θα ελέγχεται:

- >Η ύπαρξη ψηφιακών αντιγράφων για όλα τα πρωτότυπα που ψηφιοποιήθηκαν.
- Η αποθήκευση των ψηφιακών αντιγράφων στον κατάλληλο τύπο αρχείου με τις προβλεπόμενες διαστάσεις, ανάλυση και χρωματικό βάθος.
- Το σωστό όνομα των ψηφιακών αντιγράφων.
- Η διατήρηση όλης της πληροφορίας του πρωτοτύπου στο ψηφιακό αντίγραφο (Για παράδειγμα, έλεγχος αν υπάρχουν τμήματα του πρωτοτύπου που έχουν παραλειφθεί από το ψηφιακό αντίγραφο).
- Η διατήρηση του δυναμικού πεδίου και των χρωμάτων του πρωτοτύπου.

Ως λάθος θα ορίζεται κάθε απόκλιση από τα παραπάνω κριτήρια. Ως ανώτατο ποσοστό λαθών για την ψηφιοποίηση ορίζεται η εμφάνιση των ως άνω λαθών σε ποσοστό μεγαλύτερο του 1% των σελίδων του υπό εξέταση δείγματος.

- **Διαδικασίες επιτυχούς ελέγχου**

Σε περίπτωση που και οι δυο Έλεγχοι Αποδοχής κριθούν επιτυχείς τότε θα εκτελείται η διαδικασία της δημιουργίας των ψηφιακών αντιγράφων.

- **Διαδικασίες ανεπιτυχούς ελέγχου**

Σε περίπτωση που ο Έλεγχος Αποδοχής κριθεί ανεπιτυχής θα εκτελείται η διαδικασία του ποιοτικού ελέγχου του υλικού, όπου θα διενεργούνται διορθωτικές ενέργειες βάσει των λαθών που θα εμφανιστούν και ο συγκεκριμένος έλεγχος θα επαναλαμβάνεται.

## **11.8 Δημιουργία Παραδοτέων και Επιστροφή του Υλικού στο Φυσικό Αρχείο**

Το σύνολο των αρχείων που θα παραχθούν σαν αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης και θα έχουν περάσει με επιτυχία από τον Έλεγχο Αποδοχής θα παραδίδονται σε εξωτερικό σκληρό δίσκο προκειμένου να γίνει η μετάπτωση στο τελικό σύστημα διαχείρισης Ψηφιακού Περιεχομένου και Μεταδεδομένων.

Για κάθε ψηφιοποιημένο τεκμήριο κατ' ελάχιστον θα παραδίδονται:

- Ένα ψηφιακό ανάτυπο σε υψηλή ανάλυση (αρχείο TIFF)
- Ένα ψηφιακό ανάτυπο για προβολή μέσω διαδικτύου (αρχείο JPEG)
- Ένα ψηφιακό ανάτυπο για προεπισκόπηση (αρχείο JPEG)
- Αρχεία PDF και PDF/A που θα περιέχουν για το συγκεκριμένο τεκμήριο τις ψηφιακές εικόνες των επιμέρους σελίδων, σελιδοποιημένες ανά αρχειακή ενότητα φακέλων, σύμφωνα με τη σελιδοποίηση του πρωτότυπου υλικού στους αντίστοιχους αρχειακούς φακέλους.

Ακολούθως το πρωτότυπο αρχειακό υλικό, θα συγκεντρώνεται προκειμένου να επιστραφεί στον εκπρόσωπο της Ιεράς Μητρόπολης, ιδιοκτήτη ο οποίος αφού ελέγξει την ακεραιότητά του θα έχει τη μέριμνα της επανατοποθέτησής του.

Το υλικό θα επιστρέφεται στην ίδια μορφή με αυτή που παραλήφθηκε.

Με την επιστροφή των πρωτοτύπων στον εκπρόσωπο της Ιεράς Μητρόπολης, ιδιοκτήτη θα υπογράφεται πρωτόκολλο επιστροφής.

### **(1) Διαδικασίες Προστασίας Ιδιαίτερα Ευπαθών Αντικειμένων από Φθορά**

Η ομάδα του Εργαστήριου ψηφιοποίησης αντιλαμβάνεται πλήρως ότι μέρος του υλικού που θα ψηφιοποιηθεί είναι εξαιρετικά ευαίσθητο σε μηχανικές καταπονήσεις. Η χρήση του και οποιαδήποτε μορφή αναπαραγωγής του απαιτούν ιδιαίτερους τρόπους προσέγγισης. Κατά τη διάρκεια των εργασιών ψηφιοποίησης το υλικό αυτό θα χρησιμοποιείται με ιδιαίτερα προσεκτικό τρόπο για να αποφευχθεί η οποιαδήποτε βλαπτική επίδραση επί των κειμένων, των εικόνων και της βιβλιοδέτησης.

Κατά το χειρισμό των τεκμηρίων που θα ψηφιοποιηθούν, τα μέλη της ομάδας εργασίας θα είναι απολύτως ενήμερα ότι απαγορεύεται η οποιαδήποτε φθορά των προς ψηφιοποίηση τεκμηρίων.

Η ομάδα των ερευνητών του Εργαστήριου ψηφιοποίησης για τον χειρισμό του πρωτοτύπου του αρχειακού υλικού και ιδιαίτερα των ευπαθών αντικειμένων θα εφαρμόσει τις ακόλουθες οδηγίες ανάλογα με το υλικό και το είδος τους.

### 11.8.1 Πρωτότυπα από χαρτί

Για τα πρωτότυπα από χαρτί θα ακολουθούνται οι εξής οδηγίες:

- Το χαρτί είναι πολύ επιρρεπές σε φυσικές καταστροφές, όπως σκίσιμο και πύκωση, συνεπώς η μεταχείρισή του πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή.
- Το πεπαλαιωμένο χαρτί θρυμματίζεται πολύ εύκολα. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η κατάλληλη υποστήριξη του.
- Τα χέρια είναι απαραίτητο να είναι καθαρά κατά τη μεταχείριση χαρτιού. Συνιστάται η χρήση γαντιών για επιπλέον προστασία. Προτείνονται τα βαμβακερά γάντια, αλλά δεν είναι πάντα κατάλληλα, διότι κάνουν πιο δύσκολο το κράτημα μεμονωμένων φύλλων χαρτιού. Μια καλή εναλλακτική λύση είναι τα χειρουργικά γάντια.
- Καλό είναι να απομακρύνονται πριν την ψηφιοποίηση μέσω σύναψης εγγράφων, καθώς μπορεί να προκαλέσουν ζημιές τόσο στη συσκευή ψηφιακής αποτύπωσης όσο και στο ίδιο το πρωτότυπο.
- Αν είναι απαραίτητη η εξέταση του χαρτιού από κοντά, θα ήταν καλό να τοποθετηθεί πάνω σε κάτι σταθερό, για παράδειγμα κάποιο χαρτόνι, και πάνω σε αυτό να γίνει η μεταφορά του με τα δυο χέρια. Κρατώντας το με το ένα χέρι, αυξάνεται ο κίνδυνος πρόκλησης ζημιάς.
- Αν πρέπει να μεταφερθεί το χαρτί σε κάποια απόσταση, συνιστάται να τοποθετηθεί οριζόντιο πάνω σε κάποιο σταθερό μέσο και να είναι σκεπασμένο με κάποιο υλικό, ώστε να μην κινδυνεύει να παρασυρθεί από τον αέρα. Εναλλακτικά μπορεί να τοποθετηθεί ανάμεσα σε δύο οριζόντιες επιφάνειες. Προτείνεται να τοποθετηθεί σε φάκελο ή ειδική πλαστική θήκη, με εξαίρεση τα παστέλ και τα σχέδια με κάρβουνο.
- Αν το κάρβουνο, τα παστέλ, οι υδατογραφίες ή το μολύβι τριφτούν ή πασαλειφτούν, η ζημιά είναι μόνιμη. Για το λόγο αυτό δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή με σκληρό χαρτί ή επιφάνεια, με δημοσιογραφικό χαρτί, χαρτί περιτυλίγματος ή οποιοδήποτε έντυπο υλικό (μπορεί να ξεβάψει το μελάνι), να μην τοποθετούνται πλαστικά κοντά σε παστέλ και κάρβουνα και φυσικά να μην τρίβονται και να μη στοιβάζονται.
- Ο ασφαλέστερος τρόπος για τη μεταφορά εκτυπώσεων, εικόνων, υδατογραφιών και κειμένων σε μεγάλη απόσταση είναι μέσα σε ειδικά σχεδιασμένους χαρτοφύλακες.
- Κατά το χειρισμό περισσότερων του ενός χάρτινων αντικειμένων, προτείνεται να γίνεται ο διαχωρισμός του ενός από το άλλο με κάποιο φύλλο απορροφητικού ή καλής ποιότητας χαρτιού.
- Επιβάλλεται η αποφυγή αυτοκόλλητων ταινιών για την επιδιόρθωση του χαρτιού. Οι ταινίες αυτές είναι πολύ κολλώδεις και απορροφώνται εύκολα από το χαρτί, το

οποίο κιτρινίζει και αποκτά μόνιμο σημάδι το οποίο δεν μπορεί να αφαιρεθεί. Επίσης, καλό είναι να μην χρησιμοποιείται κόλλα από καουτσούκ ή ξυλόκολλα. Τέτοια υλικά αλλάζουν χρώμα όσο περνά ο καιρός.

- Καλό είναι να απομακρυνθούν μελάνια και μαρκαδόροι από το χώρο ψηφιοποίησης και να χρησιμοποιείται μόνο μολύβι.
- Χαρτιά τυλιγμένα σε ρολό καλό είναι να μην ασφαρίζονται με κάποιο λαστιχάκι, αλλά με βαμβακερή ταινία. Κατά το τύλιγμά τους σε ρολό, καλύτερα να τυλίγονται γύρω από κάποιο κυλινδρικό σωλήνα, αντί να τοποθετούνται μέσα σε αυτόν. Έτσι υποστηρίζονται καλύτερα και αποφεύγονται οι πτυχώσεις.

### 11.8.2 Βιβλιοδετημένο υλικό

Για βιβλιοδετημένο υλικό θα ακολουθούνται οι εξής οδηγίες:

- Τα χέρια επιβάλλεται να είναι καθαρά, ώστε να μην μένουν σημάδια στο εξώφυλλο και τις σελίδες. Τα βαμβακερά γάντια είναι λύση, αλλά μπορεί να δυσκολέψουν το γύρισμα των σελίδων. Μια καλή εναλλακτική λύση είναι τα χειρουργικά γάντια. Τα βαμβακερά γάντια είναι χρήσιμα για το χειρισμό βιβλίων με διακόσμηση από φύλλα χρυσού στο εξώφυλλο ή αλλού.
- Η απομάκρυνση ενός βιβλίου από κάποιο ράφι δε θα πρέπει να γίνεται από την κορυφή του δεσίματος, γιατί μπορεί να προκληθεί ζημιά. Ο σωστός τρόπος είναι να τραβηχτεί, πιάνοντάς το γύρω από το δέσιμο με τα δάχτυλα στην μία μεριά και τον αντίχειρα στην άλλη, αφού παραμεριστούν τα γύρω βιβλία. Συνεπώς, καλό είναι να υπάρχει κάποιο κενό μεταξύ των βιβλίων, αλλά και στο πίσω μέρος των ραφιών.
- Τα βιβλία καλό είναι να ανοίγονται προσεκτικά, καθώς το δέσιμο και η ραφή μπορεί να σπάσουν, αν το βιβλίο ανοιχτεί βίαια. Αν ένα βιβλίο δεν μπορεί να ανοιχτεί επίπεδα θα πρέπει να ανοίξει μέχρι το σημείο που δε δημιουργείται πρόβλημα με τη βοήθεια υποστήριξης, ώστε να μην καταπονηθεί. Συνιστάται να μην αποσπώνται τα φύλλα από βιβλιοδετημένα αντικείμενα (π.χ. βιβλία ή αρχεία) μεγάλης αξίας. Σε αυτή την περίπτωση θα χρησιμοποιείται ο σαρωτής βιβλίων. Αντίθετα, όταν τα αντικείμενα αυτά είναι μικρής αξίας, υπάρχουν και δεύτερα αντίτυπα ή η βιβλιοδεσία είναι ήδη κατεστραμμένη, δικαιολογείται ο διαχωρισμός σε ξεχωριστές σελίδες.
- Οι σελίδες πρέπει να γυρίζονται αργά και με φροντίδα, καθώς είναι πολύ εύκολο να σκιστεί κάποια σελίδα διαφορετικά.
- Τα δάχτυλα συνιστάται να μην υγραίνονται προκειμένου να γυριστούν οι σελίδες. Η υγρασία μπορεί να λερώσει το χαρτί και μπορεί να μεταφερθούν μικρόβια στο βιβλίο ή στο προσωπικό.
- Αν μετακινούνται πολύτιμα βιβλία, καλύτερα να τοποθετούνται σε γερά κουτιά. Η μετακίνηση πολλών βιβλίων σε μια φάση μπορεί να προκαλέσει τραυματισμούς ή ζημιές στα βιβλία.



- Τα εξώφυλλα των βιβλίων μπορεί να παραμορφωθούν με την τριβή. Αυτό είναι σημείο ιδιαίτερης προσοχής για δεσίματα που είναι από μαλακό δέρμα ζώου. Συνεπώς πολύτιμα ή εύθραυστα βιβλία δε συνιστάται να τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο καθώς μπορεί να τρίβονται μεταξύ τους. Αν τα βιβλία πάθουν κάποια ζημιά, πιθανές απόπειρες επιδιόρθωσης μπορεί να προκαλέσουν μεγαλύτερη ζημιά, όπως η χρήση αυτοκόλλητων ταινιών η επίδραση των οποίων περιγράφεται στην προηγούμενη περίπτωση.

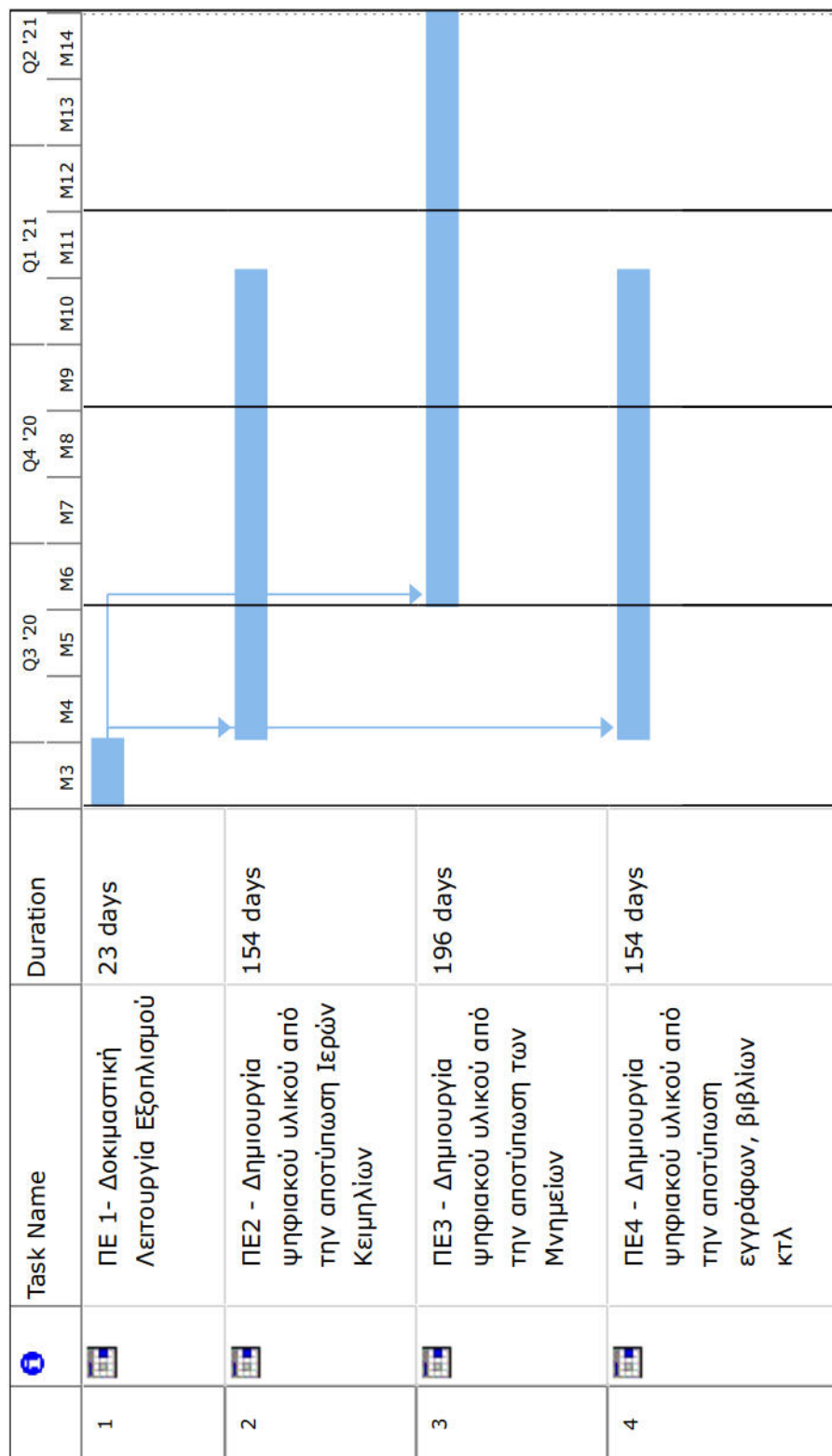
## **(2) Χρονοπρογραμματισμός Εργασιών Ψηφιοποίησης**

Ο χρονοπρογραμματισμός των Εργασιών Ψηφιοποίησης ακολουθεί τα βήματα όπως αυτά αποτυπώνονται στο παρακάτω διάγραμμα με την αλληλουχία που τα διακρίνει.



## 11.9 Χρονοδιάγραμμα Ψηφιοποίησης

Το χρονοδιάγραμμα ψηφιοποίησης αποτυπώνεται στο ακόλουθο χρονοδιάγραμμα:





## 12. Οργανωτική Δομή Ομάδας Ψηφιοποίησης

### 12.1 Προτεινόμενη δομή εργαστηρίου/ομάδας ψηφιοποίησης

Ομάδα Εργαστηρίου	
Υπεύθυνος Εργαστηρίου	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Η ομαλή ροή όλων των εργασιών του Εργαστηρίου</li><li>▪ Η ενημέρωση του υπευθύνου του έργου για την πορεία των εργασιών του Εργαστηρίου</li><li>▪ Η επικοινωνία με τον υπεύθυνο της Ιεράς Μητρόπολης, ιδιοκτήτη του αρχείου για επίλυση καθημερινών προβλημάτων.</li><li>▪ Η τήρηση όλων των διαδικασιών ποιότητας.</li><li>▪ Η παραλαβή νέου υλικού προς ψηφιοποίηση και επιστροφή του ψηφιοποιημένου υλικού</li><li>▪ Ο έλεγχος αποδοχής των ψηφιοποιημένων στοιχείων</li><li>▪ Συμμετοχή στην διαδικασία μετάπτωσης</li></ul>
Υπεύθυνος επαλήθευσης /Αναπληρωτής Υπεύθυνος Ομάδας ψηφιοποίησης	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Ο ποιοτικός έλεγχος των ψηφιοποιημένων στοιχείων</li><li>▪ Η υποβοήθηση των ελεγκτών στο έργο τους κατά τον έλεγχο αποδοχής.</li><li>▪ Η ενημέρωση του υπευθύνου ψηφιοποίησης για την πορεία των εργασιών επαλήθευσης</li><li>▪ Η υποβοήθηση του υπευθύνου ψηφιοποίησης στο έργο του και η αναπλήρωση του σε περίπτωση απουσίας του.</li></ul>
Ερευνητής	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Ο ποιοτικός έλεγχος των ψηφιοποιημένων στοιχείων</li><li>▪ Η υποβοήθηση των ελεγκτών στο έργο τους κατά τον έλεγχο αποδοχής.</li><li>▪ Η ενημέρωση του υπευθύνου ψηφιοποίησης για την πορεία των εργασιών επαλήθευσης.</li></ul>
Υπεύθυνος Ομάδας Τεχνικής Υποστήριξης λειτουργίας του Εργαστηρίου	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Η προετοιμασία των χώρων εγκατάστασης του εξοπλισμού</li><li>▪ Η εγκατάσταση του τεχνικού εξοπλισμού, (PCs, δικτυακός εξοπλισμός, εκτυπωτές, κ.λπ.) και έλεγχος της λειτουργικότητας.</li><li>▪ Η ορθή και απρόσκοπτη λειτουργία του εξοπλισμού κατά την διάρκεια της ψηφιοποίησης.</li></ul>

## 12.2 Ομάδα Στελεχών Ιδιοκτήτη Αρχαιακού Υλικού

Ρόλος	Αρμοδιότητες
Υπεύθυνος παράδοσης και παραλαβής υλικού προς ψηφιοποίηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>Παράδοση του υλικού προς ψηφιοποίηση στην ομάδα του Εργαστηρίου σύμφωνα με το πλάνο.</li> <li>Παραλαβή του πρωτότυπου αρχαιακού υλικού που έχει ψηφιοποιηθεί.</li> </ul>
Υπεύθυνος Δειγματοληπτικών Ελέγχων Αποδοχής	<ul style="list-style-type: none"> <li>Συντονισμός ομάδας δειγματοληπτικού ελέγχου της ομάδας του Εργαστηρίου για τον Έλεγχο Αποδοχής.</li> <li>Ενημέρωση του υπεύθυνου του Εργαστηρίου της ομάδας για τα αποτελέσματα των Ελέγχων Αποδοχής.</li> </ul>
Υπεύθυνος Διευκρινήσεων	<ul style="list-style-type: none"> <li>Συνεργασία με τον υπεύθυνο της Ιεράς Μητρόπολης, ιδιοκτήτη του υλικού για παροχή διευκρινήσεων.</li> </ul>

## 12.3 Κρίσιμοι Παράγοντες για την ψηφιοποίηση

Κρίσιμος Παράγοντας	Ενέργειες
<p>Η διάθεση από πλευράς της Ιεράς Μητρόπολης, χώρου κατάλληλου για την λειτουργία του Εργαστηρίου.</p> <p>Ο χώρος αυτός θα πρέπει να διαθέτει επαρκή ηλεκτρολογική εγκατάσταση, να είναι ενιαίος και να ικανοποιεί όλες τις απαραίτητες συνθήκες ασφαλείας και υγιεινής για την απρόσκοπτη εκτέλεση των εργασιών ψηφιοποίησης.</p>	<p>Ο υπεύθυνος της Ιεράς Μητρόπολης δεσμεύεται να παραχωρήσει στην ομάδα των ερευνητών του Εργαστηρίου κατάλληλο χώρο.</p>
<p>Σε καθημερινή βάση θα πρέπει να παραδίδεται στον υπεύθυνο της ομάδας του Εργαστηρίου το υλικό.</p>	<p>Ο υπεύθυνος της Ιεράς Μητρόπολης δεσμεύεται στην τήρηση του Ημερήσιου Πλάνου Παράδοσης υλικού από έτσι ώστε η ομάδα του Εργαστηρίου να μην μένουν χωρίς αντικείμενο εργασίας.</p>
<p>Η <b>ομάδα έργου</b> της ψηφιοποίησης σάρωσης θα πρέπει να απαρτίζεται από</p>	<p>Η ομάδα των ερευνητών του Εργαστηρίου θα αποτελείται από ερευνητές που έχουν</p>

Κρίσιμος Παράγοντας	Ενέργειες
<p>άτομα με εμπειρία στην διαδικασία της σάρωσης.</p>	<p>εργαστεί στο παρελθόν σε ανάλογα έργα με επιτυχία.</p>
<p>Η ομάδα έργου θα πρέπει να είναι <b>επαρκής</b> έτσι ώστε να μπορεί να φέρει σε πέρας την εργασία της σάρωσης στο προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα.</p>	<p>Η ομάδα των ερευνητών θα παρακολουθεί την παραγωγικότητα της σάρωσης σε εβδομαδιαία βάση και σε περίπτωση που κρίνει ότι ο ρυθμός είναι μικρός τότε θα προβαίνει στην αύξησή του είτε προσωρινά είτε μόνιμα.</p>
<p>Ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες του έργου.</p>	<p>Η ομάδα των ερευνητών θα χρησιμοποιήσει το κατάλληλο εξοπλισμό για την λειτουργία του Εργαστηρίου, εξοπλισμός που έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε αντίστοιχα έργα, καθώς και υποστηρικτικό εξοπλισμό.</p>



## 13. Βιβλιογραφία

### Ελληνόφωνη:

Βασιλική Αργίτη (2015) «Αγγίτης: 3Δ Ψηφιοποίηση, Μελέτη και Προβολή Παλιοντολογικών και Αρχαιολογικών Ευρημάτων», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, <https://hellenicus.lib.aegean.gr/handle/11610/19109>

Κουτσούδης, Α., & Παυλίδης, Γ. (2019). 3Δ ψηφιοποίηση (2η έκδ.). Εκδόσεις Τσότρας. ISBN 978-618-5309-51-0.

Ανδριώτης.Κ. (2008), Αειφορία και Εναλλακτικός Τουρισμός. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.

Βουρδάνος Α. (2008), Εναλλακτικές μορφές τουρισμού στην Ελλάδα: Ανάπτυξη του Θρησκευτικού Τουρισμού, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ΤΜΧΠΠΑ, Βόλος.

ΕΟΤ (2005), Θρησκευτικά μνημεία στην Ελλάδα, Αθήνα.

ΕΛΣΤΑΤ (2011), Στατιστική επετηρίδα της Ελλάδας 2009-2010, Πειραιάς.

ΕΣΥΕ (2006), Στατιστική επετηρίδα της Ελλάδας 2004, Πειραιάς.

Γιαννέλης Γ., (2003) Μελέτη Τουριστικής Ανάπτυξης Περιφέρειας Ανατ. Μακεδονίας και Θράκης, Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΟΤ, Αθήνα.

Διάμετρος Ε.Π.Ε., (2003), Μελέτη Τουριστικής Ανάπτυξης Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας, Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΟΤ, Αθήνα.

Εταιρεία Αναπτυξιακών Μελετών, (2003), Μελέτη Τουριστικής Ανάπτυξης Περιφέρειας Κρήτης, Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΟΤ, Αθήνα.

ΘΕΩΡΗΜΑ Α.Ε., (2003), Μελέτη Τουριστικής Ανάπτυξης Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου, Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΟΤ, Αθήνα.

Κοτζαμπόπουλος Α., Παυλάκης Γ., (2003), Μελέτη Τουριστικής Ανάπτυξης Περιφέρειας Πελοποννήσου, Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΟΤ, Αθήνα.

Λύτρας, Π. (2001), Θρησκευτικός τουρισμός: Μια κοινωνικο-ψυχολογική προσέγγιση, Εκδόσεις INTERBOOKS, Αθήνα.

Μαλλάς Α., (2003), Μελέτη Τουριστικής Ανάπτυξης Περιφέρειας Ηπείρου, Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΟΤ, Αθήνα.

Μενελάου Ο. (2015), Συμβολή των Μετεώρων στην Τοπική Ανάπτυξη της Καλαμπάκας, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ΤΜΧΠΠΑ, Βόλος.

Μοίρα-Μυλωνοπούλου Π. (2000), Τουριστική Γεωγραφία, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

Μοίρα, Π. (2005). Τουριστική Γεωγραφία της Ελλάδας, εκδ. Interbooks, Αθήνα.



Μοίρα, Π. (2008). Η αξιοποίηση των θρησκευτικών πόρων στην ανάπτυξη του πολιτιστικού τουρισμού. *Τυπολογία. Τουριστικά Θέματα*, Τεύχος 5, σελ. 97-112.

Μοίρα, Π. και Μυλωνόπουλος, Δ. (2014). Τουρισμός υγείας και ταξίδι υγείας. Κοινωνιολογική προσέγγιση και εννοιολογική διασαφήνιση, *e-Journal of Science and Technology (e-JST)*, Τ.Ε.Ι. Αθήνας, 9(2), σελ. 11-28.

Μιχαηλίδης Γ., (2003), *Μελέτη Τουριστικής Ανάπτυξης Περιφέρειας Κ. και Δυτ. Μακεδονίας*, Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΟΤ, Αθήνα.

Nolan M. L., Nolan S. (1992), Religious sites as tourism attractions in Europe, *Annals of Tourism Research*, vol. 19, pp. 68-78.

Παλούμης Δ., Σιδηρόπουλος Κ. (2003), *Μελέτη Τουριστικής Ανάπτυξης Περιφέρειας Θεσσαλίας*, Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΟΤ, Αθήνα.

Παυλίδης, Γ., Κουτσούδης, Α., Τσιούκας, Β., & Αρναούτογλου, Φ. (2004). Digitech III - Μελέτη Ψηφιοποίησης 3Δ Κινητών Αντικειμένων, <http://www.ipet.gr/digitech/docs/objects.pdf>.

#### Αγγλόφωνη:

Pew Research Center (2015), *The Future of World Religions: Population Growth Projections, 2010-2050*, Washington.

Terras, M. M. (2015). *Cultural Heritage Information: Artefacts and Digitization Technologies*. Facet.

Besl, Paul J.; N.D. McKay (1992). "A Method for Registration of 3-D Shapes". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 14 (2): 239–256. doi:10.1109/34.121791.

Sgrenzaroli, M. and Wolfart, E. (2002). Accurate texture-mapped 3d models for documentation, surveying and presentation purposes. In *Proc. CIPA-ISPRS Int. Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*, pages 1–2.

Bernardini, F., Mittleman, J., Rushmeier, H., Silva, C., and Taubin, G. (1999). The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 5(4):349–359.

Bernardini, F. and Rushmeier, H. (2002). The 3d model acquisition pipeline. In *Computer graphics forum*, volume 21, pages 149–172. Wiley Online Library

Frederic M. (1993), *Rural tourism and Economic Development*, *Economic Development Quarterly*, vol. 7, No. 2, pp. 215-224.

P. Cignoni , C. Montani , R. Scopigno, (1997), A comparison of mesh simplification algorithms, online πρόσβαση στο διαδίκτυο 06/06/21:

[http://webdocs.cs.ualberta.ca/~anup/Courses/604\\_3DTV/Presentation\\_files/Polygon\\_Simplification/7.pdf](http://webdocs.cs.ualberta.ca/~anup/Courses/604_3DTV/Presentation_files/Polygon_Simplification/7.pdf)

S. Zhang (2013), Handbook of 3D machine vision: Optical metrology and imaging. CRC press, 2013.

] G. Tam, Z.-Q. Cheng, Y.-K. Lai, F. Langbein, Y. Liu, D. Marshall, R. Martin, X.-F. Sun, and P. Rosin, "Registration of 3d point clouds and meshes: A survey from rigid to nonrigid," Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, vol. 19, no. 7, pp. 1199–1217, 2013.

MI Stamatopoulos, CN Anagnostopoulos, (2018) Simulation of an Archaeological Disaster: Reassembling a Fragmented Amphora Using the Thickness Profile Method, Euro-Mediterranean Conference, pp. 162-173.

Σταματόπουλος Μιχαήλ, Αναγνωστόπουλος Χρήστος – Νικόλαος (2021) «Ψηφιακή μοντελοποίηση οστράκων κεραμικής με φωτογραμμετρία και μακροφωτογράφιση: Υπολογισμοί αβεβαιότητας και σφάλματα μέτρησης», 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ψηφιοποίησης Πολιτιστικής Κληρονομιάς, Euromed2021.

Alliez P., Ucelli G., Gotsman C., Attene M. (2008) Recent Advances in Remeshing of Surfaces. In: De Floriani L., Spagnuolo M. (eds) Shape Analysis and Structuring. Mathematics and Visualization. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-33265-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-540-33265-7_2)

Koutsoudis A, et al. (2014) Multi-Image 3D Reconstruction Data Evaluation, J. of Cultural Heritage, Vol.15(1), 2014.

Koutsoudis et al. (2015) Using Noise Function-Based Patterns to Enhance Photogrammetric 3D Reconstruction Performance of Featureless Surfaces, J. of Cultural Heritage, Vol.16(5), 2015.

#### Διαδικτυακές πηγές:

Pew Research Center's Forum Religion & Public Life, (2021). Διαθέσιμο στο <URL: <http://www.pewforum.org/2012/12/18/global-religious-landscape-exec/>> [τελευταία πρόσβαση: 20 Νοεμβρίου 2021]

Dogma, (2021). Διαθέσιμο στο <URL: <http://www.dogma.gr/diafora/periigitheite-eikonika-sti-thryliki-agia-sofia-stin-poli/4148/>> [τελευταία πρόσβαση: 20 Νοεμβρίου 2021]

Freemonks.gr Διαθέσιμο στο <URL: [http://www.freemonks.gr/index.php?page=news\\_info&lang=1&id=508](http://www.freemonks.gr/index.php?page=news_info&lang=1&id=508)> [τελευταία πρόσβαση: 20 Νοεμβρίου 2021]

Discovergreece.gr Διαθέσιμο στο: <URL: <http://www.discovergreece.com/el/religion>> [τελευταία πρόσβαση: 20 Νοεμβρίου 2021]

Patmosmonastery.gr Διαθέσιμο στο: <URL: <http://www.patmosmonastery.gr/index.php>> [τελευταία πρόσβαση: 20 Νοεμβρίου 2021]