



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

**ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΑΠΟΘΕΤΗΡΙΟΥ
ΕΙΔΙΚΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΤΟΥ ΓΛΥΠΤΟΥ «ΔΡΟΜΕΑΣ»**



Έρση – Ναταλία Παπαδάκη

Διπλωματική Εργασία

Επιβλέπων:
Γεώργιος Πανταζής
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ
ΑΠΟΘΕΤΗΡΙΟΥ ΕΙΔΙΚΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ
ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΓΛΥΠΤΟΥ «ΔΡΟΜΕΑΣ»

Διπλωματική Εργασία

της

Έρσης – Ναταλίας Παπαδάκη

Επιβλέπων:
Γεώργιος Πανταζής
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

(Υπογραφή)

.....
Γεώργιος Πανταζής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Μαρία Τσακίρη
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Δημήτριος Αναστασίου
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2024

(Υπογραφή)

.....

ΕΡΣΗ – ΝΑΤΑΛΙΑ ΠΑΠΑΔΑΚΗ

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Έρση – Ναταλία Παπαδάκη, 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας φτάνει στο τέλος του ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια της ζωής μου, αυτό των προπτυχιακών μου σπουδών. Έτσι, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με το ξεχωριστό τους τρόπο στην εργασία αυτή.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Πανταζή, Καθηγητή της Σ.Α.Τ.Μ.-Μ.Γ. για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας. Οι γνώσεις και το πάθος του για το αντικείμενο με ενέπνευσαν να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και οι συμβουλές και συνολική του βοήθεια ήταν για εμένα ανεκτίμητες.

Η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την πολύτιμη βοήθεια της κας Αργυρούς-Μαρίας Μπούτση (ΥΔ στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Σ.Α.Τ.Μ.-Μ.Γ.) και της κας Στεφανίας Ιωαννίδου (ΥΔ στο Εργαστήριο Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ.-Μ.Γ.), οι οποίες ήταν πάντα πρόθυμες να με καθοδηγήσουν στις τεχνικές διαδικασίες της διπλωματικής μου και να με ενθαρρύνουν.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και στις αδερφές μου για την απέραντη στήριξη, παρότρυνση, υπομονή και αγάπη τους.

Έρση-Ναταλία Παπαδάκη

Αθήνα, Ιούλιος 2024

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από τις δεκαετίες του 1980 και του 1990, πολλοί χώροι οι οποίοι στεγάζουν μνημεία, έργα τέχνης, πολύτιμα αντικείμενα, βιβλία, σημαντικά αρχεία, κτλ. έχουν ξεκινήσει την ψηφιοποίησή τους. Την τελευταία δεκαετία, η τριδιάστατη ψηφιοποίηση αποτελεί σημαντική εξέλιξη στη διαδικασία αυτή, επιτρέποντας πιο ολοκληρωμένη και ρεαλιστική αναπαράσταση αντικειμένων στο χώρο. Μάλιστα, οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούμενες ειδικότερα στην τριδιάστατη ψηφιοποίηση μνημείων, αγαλμάτων και άλλων αντικειμένων ιστορικής ή πολιτιστικής αξίας ενθαρρύνονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, σε μία προσπάθεια τεκμηρίωσης και σε ορισμένες περιπτώσεις διάσωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Έτσι, η τριδιάστατη ψηφιοποίηση χώρων και αντικειμένων έχει λάβει σημαντικές διαστάσεις, ενώ τα αντίστοιχα ψηφιακά εργαλεία και λογισμικά, τόσο λήψης μετρήσεων όσο και επεξεργασίας και απεικόνισης συνεχίζουν να εξελίσσονται σε μεγάλο βαθμό και με ποικίλες δυνατότητες.

Η τριδιάστατη ψηφιοποίηση και απεικόνιση προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, η δε χρήση της επεκτείνεται σε διάφορους επιστημονικούς τομείς. Η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι ένας από τους τομείς αυτούς. Με την τριδιάστατη ψηφιοποίηση διασφαλίζεται η «αιώνια» διατήρηση ενός μνημείου, αντικειμένου ή και ολόκληρου χώρου καθώς και η τεκμηρίωσή του για διάφορους σκοπούς, ακόμη δε και η ακριβής ανακατασκευή του σε περίπτωση καταστροφής. Έτσι, επαγγελματίες ή απλοί ενδιαφερόμενοι μπορούν να μελετούν με διαδραστικό και λεπτομερή τρόπο τα ψηφιακά ομοιώματα (συχνά αναφέρονται σαν «ψηφιακά δίδυμα» - digital twins) των μνημείων που αναζητούν. Ενισχύεται έτσι η έκθεση μνημείων στα οποία είναι δύσκολη η επιτόπια επίσκεψη ή εξερεύνηση για διάφορους λόγους ή και λόγω της εύθραυστης κατάστασης στην οποία ευρίσκονται.

Τις δύσκολες τεχνικές προκλήσεις που θέτει το έργο της τριδιάστατης ψηφιοποίησης της πολιτιστικής κληρονομιάς, μπορεί να αντιμετωπίσει ο επιστημονικός τομέας του Τοπογράφου Μηχανικού, ο οποίος είναι ο κατεξοχήν κατάλληλος για την εκπλήρωση αυτού του σκοπού. Το επιστημονικό του υπόβαθρο του παρέχει άριστες αλλά και ολοκληρωμένες γνώσεις σχετικά με την παραγωγή και διαχείριση της

γεωχωρικής πληροφορίας, την αντίληψη του χώρου, τη συλλογή και διαχείριση δεδομένων-μετρήσεων την επεξεργασία του μεγάλου πλήθους των δεδομένων αυτών («νέφος σημείων», «big data») καθώς και την τριδιάστατη ανακατασκευή χώρων και αντικειμένων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία καλείται να αναλύσει ορισμένες από τις μεθόδους τριδιάστατης ψηφιακής απεικόνισης και ανακατασκευής και να τις εφαρμόσει σε ένα από τα πιο διάσημα και ιδιαίτερα γλυπτά της Αθήνας, αποσκοπώντας στην ολοκληρωμένη τριδιάστατη ψηφιακή γεωμετρική τεκμηρίωσή του. Με το πέρας των διαδικασιών, παρέχονται προτάσεις αξιοποίησης τόσο των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν όσο και των τεχνικών αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής, ενώ επίσης προτείνονται διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης παρόμοιων εγχειρημάτων στο μέλλον.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	II
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	V
ΕΙΚΟΝΕΣ	VIII
ΣΧΗΜΑΤΑ	IX
ΠΙΝΑΚΕΣ	XVIII
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	XIX
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	XX
ABSTRACT	XXII
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΓΛΥΠΤΟ «ΔΡΟΜΕΑΣ» ΚΑΙ ΤΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟ ΤΟΥ	3
1.1. Ο γλύπτης	3
1.2. Ο Δρομέας.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΝΕΦΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	8
2.1. Γεωμετρική τεκμηρίωση αντικειμένων – μνημείων	8
2.1.1. Η σπουδαιότητα της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων ...	8
2.1.2. Μέθοδοι Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων	12
2.2. Αντίστροφη μηχανική.....	14
2.2.1. Βασικά στάδια εκτέλεσης της διαδικασίας της αντίστροφης μηχανικής.....	15
2.3. Πολυεικονική διαδικασία τριδιάστατης ανακατασκευής.....	18
2.3.1. Στάδιο συλλογής δεδομένων	20
2.3.2. Στάδιο προσανατολισμού των εικόνων – Μέθοδος Structure from Motion (SfM).....	20
2.3.2.1. Συνταύτιση εικόνων.....	20
2.3.2.2. Μέθοδος Structure from Motion (SfM).....	22

2.3.3. Στάδιο δημιουργίας χαρτών βάθους.....	24
2.3.4. Στάδιο παραγωγής πυκνού νέφους σημείων	26
2.3.4.1. Από τη συγχώνευση χαρτών βάθους.....	27
2.3.4.2. Από την πύκνωση αραιού νέφους σημείων.....	28
2.3.5. Στάδιο δημιουργίας τριδιάστατης επιφάνειας.....	31
2.3.6. Στάδιο απόδοσης υφής	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ (3D) ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΓΛΥΠΤΟΥ «ΔΡΟΜΕΑΣ»	35
3.1. Συλλογή δεδομένων – Εργασίες πεδίου	35
3.2. Εργασίες γραφείου.....	40
3.3. Διαδικασία παραγωγής τριδιάστατου 3D μοντέλου.....	41
3.3.1. Trimble Business Center	42
3.3.2. Geomagic Wrap.....	44
3.3.3. Agisoft Metashape (Professional)	62
3.3.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων	86
3.3.4.1. Εξωτερική ακρίβεια.....	87
3.3.4.2. Εσωτερική ακρίβεια.....	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΜΩΝ ΤΟΥ ΓΛΥΠΤΟΥ	97
4.1. Εισαγωγή	97
4.2. Διαδικασία παραγωγής τομών.....	97
4.3. Αποτελέσματα	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΓΛΥΠΤΟΥ	110
5.1. Εισαγωγή	110
5.2. Βάση Δεδομένων για το μοντέλο του γλυπτού του Δρομέα.....	111
5.2.1. Διαδικασία δημιουργίας Βάσης Δεδομένων	111
5.2.2. Αποτελέσματα	114

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	123
6.1. Συμπεράσματα	123
6.2. Προτάσεις	129
6.2.1. Δυνατότητες εμπορικής αξιοποίησης.....	129
6.2.2. Επεκτάσεις σε άλλες διπλωματικές ή επιστημονικές εργασίες	130
6.2.3. Διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης ή βελτίωσης προβλημάτων της παρούσας εργασίας	131
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	132
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	136
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	139
ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ	141

EΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1. Ο γλύπτης Κώστας Βαρώτσος.....	3
Εικόνα 1.2. Το γλυπτό «ο Ποιητής» στη Λευκωσία της Κύπρου	4
Εικόνα 1.3. Το γλυπτό «Δρομέας» στην αρχική του τοποθεσία, στην πλατεία Ομονοίας.....	5
Εικόνα 1.4. Το γλυπτό «Δρομέας» στη σημερινή του τοποθεσία, στην πλατεία Μεγάλη του Γένους Σχολή, μπροστά από το ξενοδοχείο Hilton	7
Εικόνα 2.1. Απεικόνιση ανιχνευτή με αισθητήρες που έρχονται σε επαφή με το αντικείμενο (tactile method).....	15
Εικόνα 2.2. Απεικόνιση ανιχνευτή με αισθητήρες που δεν έρχονται σε επαφή με το αντικείμενο (non-contact method).....	16
Εικόνα 2.3. Απεικόνιση ενδεικτικών ασπρόμαυρων χαρτών βάθους τυχαίων εικόνων.....	26
Εικόνα 2.4. Παραδείγματα χαρτών βάθους για ενδεικτικές εικόνες από το πλήθος αεροφωτογραφιών του Drone για το μοντέλο του Δρομέα στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	26
Εικόνα 3.1. Απεικόνιση στάσης Σ1 (αριστερά) και στάσης Σ2 (δεξιά) στο πεδίο (σημειώνεται πως οι φωτογραφίες πάρθηκαν αρκετό καιρό μετά την ολοκλήρωση της συλλογής δεδομένων στο πεδίο, γι' αυτό και δεν αναγράφονται εμφανώς οι ονομασίες).....	36
Εικόνα 3.2. Ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1201+.....	37
Εικόνα 3.3. Πολυγεωδαιτικός σταθμός Trimble SX10.....	39
Εικόνα 3.4. UAV DJI Phantom 4 RTK.....	40

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 2.1. Σχηματική απεικόνιση των βασικών σταδίων εκτέλεσης της διαδικασίας της αντίστροφης μηχανικής.....	18
Σχήμα 2.2. Σχηματική απεικόνιση των σταδίων της διαδικασίας της πολυεικονικής επίλυσης.....	19
Σχήμα 2.3. Αποτελέσματα διαδικασίας SfM. Αριστερά απεικόνιση της θέσης και του προσανατολισμού των καμερών για δεδομένα λήψης από UAV και ποικίλων προσανατολισμών και δεξιά απεικόνιση του αραιού τριδιάστατου νέφους σημείων για το τυχαίο αντικείμενο.....	24
Σχήμα 2.4. Αποτελέσματα διαδικασίας SfM. Απεικόνιση της θέσης και του προσανατολισμού των καμερών για επίγεια δεδομένα εικόνων ποικίλων προσανατολισμών και ταυτόχρονα απεικόνιση του αραιού τριδιάστατου νέφους σημείων για την τυχαία εικονιζόμενη σκηνή.....	24
Σχήμα 2.5. Απεικόνιση ενός patch (p) όπου $c(p)$ η αρχική εκτίμηση του κέντρου του patch και $n(p)$ η αρχική εκτίμηση του κάθετου διανύσματος του patch.....	29
Σχήμα 2.6. Απεικόνιση της εικόνας αναφοράς $R(p)$ και των συνόλων εικόνων $S(p)$ και $T(p)$ που συνδέονται με το patch.....	29
Σχήμα 2.7. Διάγραμμα ροής της μεθόδου πύκνωσης αραιού νέφους σημείων PMVS.....	31
Σχήμα 2.8. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας απόδοσης υφής σε τριδιάστατο ψηφιακό μοντέλο.....	34
Σχήμα 3.1. Η μορφή του γεωδαιτικού δικτύου σε περιβάλλον AutoCAD, (η γραμμοσκιασμένη περιοχή αντιπροσωπεύει την θέση του γλυπτού).....	36
Σχήμα 3.2. Κροκί με την υπόδειξη της σχετικής θέσης των στάσεων της όδευσης ($\Sigma 1$ έως $\Sigma 4$) και των τυχαίων σημείων πάνω στο γλυπτό.....	38
Σχήμα 3.3. Νέφος σημείων για το τμήμα των ποδιών του γλυπτού στο περιβάλλον του Geomagic Wrap.....	46

Σχήμα 3.4. Διαχωρισμός του παραπάνω νέφους στα υπό-τμήματα «πόδια 1» και «πόδια 2».....	46
Σχήμα 3.5. Διαχωρισμός του παραπάνω νέφους στα υπό-τμήματα «πόδια 3», «πόδια 4» και «πόδια 5».....	46
Σχήμα 3.6. Νέφος σημείων για το τμήμα του κορμού του γλυπτού στο περιβάλλον του Geomagic Wrap.....	47
Σχήμα 3.7. Νέφος σημείων για το τμήμα του κεφαλιού του γλυπτού στο περιβάλλον του Geomagic Wrap.....	47
Σχήμα 3.8. Νέφος σημείων για το τμήμα της βάσης του γλυπτού στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic Wrap.....	47
Σχήμα 3.9. Ενδεικτική απεικόνιση 1 ^{ου} υπό-τμήματος της κατηγορίας των ποδιών του γλυπτού σε μορφή triangular mesh, με τις ρυθμίσεις του εργαλείο mesh doctor πριν την εφαρμογή του στο περιβάλλον Geomagic Wrap.....	51
Σχήμα 3.10. Ενδεικτική απεικόνιση 1ου υπό-τμήματος της κατηγορίας των ποδιών του γλυπτού σε μορφή triangular mesh, με τις ρυθμίσεις του εργαλείο mesh doctor μετά την εφαρμογή του στο περιβάλλον Geomagic Wrap.....	51
Σχήμα 3.11. Κάτοψη του νέφους σημείων για το υπό-τμήμα «Κεφάλι 1» (αριστερά) και κάτοψη των 6 συνολικά επιμέρους τμημάτων λεπτομέρειας που απομονώθηκαν από το αρχικό νέφος (δεξιά), σε περιβάλλον Geomagic Wrap.....	54
Σχήμα 3.12. Κάτοψη της triangular mesh μορφής του υπό-τμήματος «Κεφάλι 1» χωρίς καμία χειροκίνητη επεξεργασία (αριστερά) και κάτοψη των 6 συνολικά επιμέρους τμημάτων λεπτομέρειας σε triangular mesh μορφή (δεξιά), σε περιβάλλον Geomagic Wrap.....	55
Σχήμα 3.13. Κάτοψη του ολοκληρωμένου υπό-τμήματος «Κεφάλι 1» σε triangular mesh μορφή μετά την συνένωση των επιμέρους τμημάτων, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.....	55
Σχήμα 3.14. Απεικόνιση της πρώτης όψης του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.....	56

Σχήμα 3.15. Απεικόνιση της δεύτερης όψης του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.....	57
Σχήμα 3.16. Απεικόνιση της τρίτης όψης του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.....	57
Σχήμα 3.17. Απεικόνιση της τέταρτης όψης του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.....	58
Σχήμα 3.18. Απεικόνιση του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού από διαφορετικές οπτικές γωνίες, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.....	58
Σχήμα 3.19. Απεικόνιση ενδεικτικών σημείων λεπτομέρειας του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap...	59
Σχήμα 3.20. Απεικόνιση του τριδιάστατου μοντέλου που έχει προκύψει από τα δεδομένα του laser scanner, στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	62
Σχήμα 3.21. Ρυθμίσεις διαδικασίας ευθυγράμμισης εικόνων (align photos) στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	64
Σχήμα 3.22. Απεικόνιση του τριδιάστατου αραιού νέφους σημείων από την ευθυγράμμιση των εικόνων για όλη τη σκηνή που απεικονίζουν οι εικόνες του Drone (I) στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	65
Σχήμα 3.23. Απεικόνιση του τριδιάστατου αραιού νέφους σημείων από την ευθυγράμμιση των εικόνων για όλη τη σκηνή που απεικονίζουν οι εικόνες του Drone (II) στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	66
Σχήμα 3.24. Απεικόνιση του τριδιάστατου αραιού νέφους σημείων από την ευθυγράμμιση των εικόνων για όλη τη σκηνή που απεικονίζουν οι εικόνες του Drone (III) στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	66
Σχήμα 3.25. Αραιό νέφος σημείων του γλυπτού μετά την απομάκρυνση του περιττού θορύβου στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	67
Σχήμα 3.26. Αραιό νέφος σημείων του γλυπτού με την θέση όλων των καμερών μετά την ευθυγράμμισή τους στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	67
Σχήμα 3.27. Ρυθμίσεις διαδικασίας κατασκευής του πολυγωνικού πλέγματος (mesh) στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	68

Σχήμα 3.28. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, χωρίς υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	69
Σχήμα 3.29. Ρυθμίσεις διαδικασίας κατασκευής του χάρτη υφής του γλυπτού στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	69
Σχήμα 3.30. Χάρτης υφής του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού.....	70
Σχήμα 3.31. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (I).....	71
Σχήμα 3.32. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (II).....	71
Σχήμα 3.33. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (III).....	72
Σχήμα 3.34. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (IV).....	72
Σχήμα 3.35. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (V).....	73
Σχήμα 3.36. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (VI).....	73
Σχήμα 3.37. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (VII).....	74
Σχήμα 3.38. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (VIII).....	74
Σχήμα 3.39. Λεπτομέρεια από το τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (I).....	75
Σχήμα 3.40. Λεπτομέρεια από το τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (II).....	75
Σχήμα 3.41. Λεπτομέρεια από το τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (III).....	76
Σχήμα 3.42. Λεπτομέρεια από το τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (IV).....	76

Σχήμα 3.43. Ενδεικτική απεικόνιση δύο επιπολικών ευθειών των φωτοσταθερών σημείων με αριθμό 61 και 64 σε δύο από τις εικόνες του συνόλου δεδομένων σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	79
Σχήμα 3.44. Απεικόνιση των τριδιάστατων συντεταγμένων (X,Y,Z) των έξι σημείων που σκοπεύθηκαν χειροκίνητα πάνω στις εικόνες, των σφαλμάτων σκόπευσης (Error) σε m και σε pixels και του αριθμού προβολών-σκοπεύσεων που πραγματοποιήθηκαν για το καθένα (Projections), σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	80
Σχήμα 3.45. Χειροκίνητη τοποθέτηση του σημείου με αριθμό 64 σε μια εικόνα στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	80
Σχήμα 3.46. Χειροκίνητη τοποθέτηση του σημείου με αριθμό 64 σε δεύτερη εικόνα στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) και αυτόματη εκτίμηση της θέσης του σημείου σε όλες τις εικόνες που είναι ορατό (άσπρο σημαιάκι).....	81
Σχήμα 3.47. Παραδείγματα εικόνων με την εκτιμώμενη από τον αλγόριθμο θέση του σημείου 64 (σήμανση με άσπρο σημαιάκι) σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	81
Σχήμα 3.48. Προβληματικό τμήμα βάσης του γλυπτού στη νότιο-δυτική πλευρά του σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	82
Σχήμα 3.49. (Επάνω) Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού με την προβολή σε αυτό των φωτοσταθερών σημείων με αριθμούς 61, 62 και 64. (Κάτω) Εικόνα με χειροκίνητη σκόπευση επί αυτής των ίδιων φωτοσταθερών σημείων σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	83
Σχήμα 3.50. Τοποθέτηση μάσκας λεπτομερώς περιμετρικά του γλυπτού, με έμφαση στη γεωμετρία του στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	84
Σχήμα 3.51. Τοποθέτηση μάσκας αυθαίρετα περιμετρικά του γλυπτού, με έμφαση στην απόκλιση της πληροφορίας που δεν έχει άμεση σχέση με το γλυπτό στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	85
Σχήμα 3.52. Απεικόνιση του τριδιάστατου μοντέλου με την εφαρμογή μασκών σε ορισμένες εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανακατασκευή του, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	86

Σχήμα 3.53. Αεροφωτογραφία που απεικονίζει την βόρεια όψη του γλυπτού και συγκεκριμένα τον σιδερένιο κορμό που διαθέτει στο εσωτερικό του.....	88
Σχήμα 3.54. Απεικόνιση του τριδιάστατου μοντέλου υπό παρόμοια οπτική γωνία της ίδιας όψης του σχήματος 3.53, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.....	88
Σχήμα 3.55. Ενδεικτική απεικόνιση (I) στιγμιότυπου οθόνης του τριδιάστατου μοντέλου στο οποίο διακρίνεται το γρασίδι στον κενό χώρο ανάμεσα στις γυάλινες πλάκες, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	89
Σχήμα 3.56. Ενδεικτική απεικόνιση (II) στιγμιότυπου οθόνης του τριδιάστατου μοντέλου στο οποίο διακρίνεται το γρασίδι στον κενό χώρο ανάμεσα στις γυάλινες πλάκες, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	90
Σχήμα 3.57. Απεικόνιση (I) ενδεικτικών αιωρούμενων φωτοσταθερών σημείων σε θέσεις όπου θα έπρεπε να έχουν αποδοθεί λεπτές γυάλινες πλάκες, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	90
Σχήμα 3.58. Απεικόνιση (II) ενδεικτικών αιωρούμενων φωτοσταθερών σημείων σε θέσεις όπου θα έπρεπε να έχουν αποδοθεί λεπτές γυάλινες πλάκες, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	91
Σχήμα 3.59. Απεικόνιση της βόρειας και προβληματικής όψης της βάσης του γλυπτού, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	91
Σχήμα 3.60. Απεικόνιση υποβάθρου του 1ου τμήματος (στα πόδια), που χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση της εσωτερικής ακρίβειας από το μοντέλο των αεροφωτογραφιών (αριστερά) και από το μοντέλο του laser scanner (δεξιά), στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	92
Σχήμα 3.61. Απεικόνιση του υποβάθρου του τμήματος της 1ης τομής (στα χέρια), που χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση της εσωτερικής ακρίβειας από το μοντέλο των αεροφωτογραφιών (αριστερά) και από το μοντέλο του laser scanner (δεξιά), στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	93

Σχήμα 3.62. Απεικόνιση της εικόνας-υποβάθρου του τμήματος της 1ης τομής (στα χέρια), που χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση της εσωτερικής ακρίβειας των μοντέλων, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (αριστερά) και σε περιβάλλον Geomagic Wrap (δεξιά).....	93
Σχήμα 4.1. Στιγμιότυπο οθόνης του τμήματος των χεριών του τριδιάστατου μοντέλου του Δρομέα σε όψη και κάτοψη μαζί με ενδεικτική αναγραφή του πάχους της επιφάνειας, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	99
Σχήμα 4.2. Στιγμιότυπο οθόνης του τμήματος της μέσης του τριδιάστατου μοντέλου του Δρομέα σε όψη και κάτοψη μαζί με ενδεικτική αναγραφή του πάχους της επιφάνειας, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	100
Σχήμα 4.3. Στιγμιότυπο οθόνης του τμήματος των ποδιών-γονάτου του τριδιάστατου μοντέλου του Δρομέα σε όψη και κάτοψη, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	101
Σχήμα 4.4. Στιγμιότυπο οθόνης που απεικονίζει την επιφάνεια του επιπέδου του τριδιάστατου μοντέλου του Δρομέα η οποία διέρχεται από τη μέση του γλυπτού σε δύο όψεις και υπό γωνία, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	102
Σχήμα 4.5. Ρυθμίσεις διαδικασίας δημιουργίας ορθομωσαϊκού (Build Orthomosaic), σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	103
Σχήμα 4.6. Απεικόνιση ορθομωσαϊκού για την επιφάνεια του επιπέδου η οποία διέρχεται από το τμήμα των χεριών στο τριδιάστατο μοντέλο του Δρομέα, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	104
Σχήμα 4.7. Απεικόνιση ορθομωσαϊκού για την επιφάνεια του επιπέδου η οποία διέρχεται από το τμήμα της μέσης στο τριδιάστατο μοντέλο του Δρομέα, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	105
Σχήμα 4.8. Απεικόνιση ορθομωσαϊκού για την επιφάνεια του επιπέδου η οποία διέρχεται από το τμήμα των ποδιών-γονάτων στο τριδιάστατο μοντέλο του Δρομέα, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	105

Σχήμα 4.9. Απεικόνιση ορθομωσαϊκού για την επιφάνεια του επιπέδου η οποία διέρχεται από την μέση του τριδιάστατου μοντέλου του Δρομέα, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	106
Σχήμα 4.10. Απεικόνιση της θέσης των σημείων 888 και 999, τα οποία τοποθετήθηκαν χειροκίνητα από τον χρήστη σε ευδιάκριτα σημεία, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).....	107
Σχήμα 5.1. Απεικόνιση της νότιο-ανατολικής όψης του γλυπτού και του σημειακού θεματικού επιπέδου που αφορά τα μετεωρολογικά δεδομένα, σε περιβάλλον QGIS.....	114
Σχήμα 5.2. Απεικόνιση του πίνακα στοιχείων (attribute table) για το σημειακό θεματικό επίπεδο που αφορά τα μετεωρολογικά δεδομένα, σε περιβάλλον QGIS.....	115
Σχήμα 5.3. Απεικόνιση της νότιο-ανατολικής όψης του γλυπτού και του σημειακού θεματικού επιπέδου που αφορά τις γενικές εννοιολογικές πληροφορίες του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	115
Σχήμα 5.4. Απεικόνιση του πίνακα στοιχείων (attribute table) για το σημειακό θεματικό επίπεδο που αφορά τις γενικές εννοιολογικές πληροφορίες του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	115
Σχήμα 5.5. Απεικόνιση της νότιο-ανατολικής όψης του γλυπτού και του σημειακού θεματικού επιπέδου που αφορά τις γεωμετρικές πληροφορίες του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	116
Σχήμα 5.6. Απεικόνιση του πίνακα στοιχείων (attribute table) για το σημειακό θεματικό επίπεδο που αφορά τις γεωμετρικές πληροφορίες του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	116
Σχήμα 5.7. Εγκάρσια τομή Α-Α΄ του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS...117	117
Σχήμα 5.8. Εγκάρσια τομή Β-Β΄ για του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	117
Σχήμα 5.9. Εγκάρσια τομή Γ-Γ΄ του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	118
Σχήμα 5.10. Μηκοτομή του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	118

Σχήμα 5.11. Απεικόνιση της νότιο-δυτικής όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	119
Σχήμα 5.12. Απεικόνιση της βόρειο-δυτικής όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	119
Σχήμα 5.13. Απεικόνιση της βόρειο-ανατολικής όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	120
Σχήμα 5.14. Απεικόνιση της δυτικής όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	120
Σχήμα 5.15. Απεικόνιση της ανατολικής όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	121
Σχήμα 5.16. Απεικόνιση της νότιας όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	121
Σχήμα 5.17. Απεικόνιση της βόρειας όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.....	122
Σχήμα 6.1. Απεικόνιση των τεσσάρων βασικών όψεων του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.....	126

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 3.1. Συντεταγμένες και σφάλματα κορυφών του 3D δικτύου.....	40
Πίνακας 3.2. Παρουσιάζεται ο αριθμός σημείων από τα οποία απαρτιζόταν κάθε υπό-τμήμα του Δρομέα, ο αριθμός τριγώνων του Mesh στα οποία μετατράπηκαν (πριν την χρήση της εντολής Mesh Doctor και την χειροκίνητη επεξεργασία) και ο αριθμός τριγώνων του Mesh (μετά την εφαρμογή της εντολής Mesh Doctor και την χειροκίνητη επεξεργασία).....	53
Πίνακας 3.3. Απεικόνιση των αποκλίσεων ανάμεσα στις τομές του μοντέλου από το Geomagic και του μοντέλου από το Metashape.....	96

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 6.1. Διάγραμμα ροής γενικών βημάτων δημιουργίας 3D μοντέλου ενός αντικειμένου.....	124
Διάγραμμα 6.2. Διάγραμμα ροής παραγωγής 3D μοντέλου στο λογισμικό Metashape της εταιρείας Agisoft.....	128

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί η ψηφιακή δημιουργία του τριδιάστατου (3D) μοντέλου του γλυπτού του "Δρομέα", ενός επιβλητικού έργου του διάσημου Έλληνα γλύπτη Κώστα Βαρώτσου, η δημιουργία ψηφιακών σχεδίων των τομών του καθώς και η δημιουργία μιας ψηφιακής Βάσης Δεδομένων για το γλυπτό, στην οποία θα μπορεί να παρεμβαίνει ο χρήστης και να ενημερώνει ή να επεξεργάζεται τα δεδομένα της.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναφέρονται λίγα λόγια για τη ζωή του γλύπτη Κώστα Βαρώτσου, τις σπουδές του, τα καλλιτεχνικά ερεθίσματά του, τις ανησυχίες του και το πρώτο του έργο από γυαλί που αποτέλεσε ορόσημο της καλλιτεχνικής του ταυτότητάς (τα γυάλινα γλυπτά) και την αφετηρία της λαμπρής διεθνούς καριέρας του. Επιπλέον, παρουσιάζεται η ιστορία και οι μεταβολές έκθεσης και τοποθέτησης που διήλθε το γλυπτό "Δρομέας" μέχρι να φτάσει στη σημερινή του τοποθεσία στην πλατεία της Μεγάλης του Γένους Σχολής, μπροστά από το ξενοδοχείο Hilton στην Αθήνα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφεται με σχετική λεπτομέρεια το γενικό θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας και όλων των εργασιών που πρόκειται να εφαρμοστούν στην πράξη παρακάτω.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύονται όλες οι τεχνικές διεργασίες που ακολουθήθηκαν για την παραγωγή του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού. Ερευνάται η χρήση τριών διαφορετικών λογισμικών προγραμμάτων για την επίτευξη του ίδιου σκοπού με τη χρήση διαφορετικών μέσων και δεδομένων και τέλος επιλέγεται το πιο πρόσφορο τριδιάστατο ψηφιακό μοντέλο για τη χρήση του και αξιοποίησή του σε περαιτέρω διεργασίες και έρευνες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται σύντομα η σημασία της ύπαρξης σχεδίων τομών για τη γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων και γενικότερα οποιουδήποτε αντικειμένου, καθώς επίσης παρουσιάζονται αναλυτικά οι τεχνικές διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία αυτών των τομών για το γλυπτό του Δρομέα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, επεξηγείται η σημαντικότητα ύπαρξης μιας ορθής και εμπειριστατωμένης Βάσης Δεδομένων για τα μνημεία, κτήρια, θρησκευτικούς χώρους, ιστορικά και καλλιτεχνικά αντικείμενα, κτλ. για

την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς που αντιπροσωπεύουν, αλλά και του τόπου και χρόνου προέλευσής τους. Επιπλέον, επεξηγούνται οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία μια απλής μορφής Βάσης Δεδομένων που περιέχει γεωμετρικές (ύψος, σχέδια τομών κ.α.), εννοιολογικές (τοποθεσία, υλικά, απεικόνιση όψεων, κατόψεων κ.α.) και μετεωρολογικές πληροφορίες για το γλυπτό και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτά.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, παρατίθενται προτάσεις αξιοποίησης τόσο της εργασίας αυτής όσο και των ουσιαστικών αποτελεσμάτων που προέκυψαν κατά τη διάρκειά της (3D μοντέλο, σχέδια τομών, Βάση Δεδομένων για το γλυπτό του Δρομέα). Οι προτάσεις αξιοποίησης εκτείνονται από πιθανούς εμπορικούς σκοπούς, έως επεκτάσεις σε άλλες επιστημονικές εργασίες. Ακόμη, συζητούνται και διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης ή πιθανής βελτίωσης λύσεων που προτάθηκαν για τα προβλήματα που προέκυψαν στην πορεία της εργασίας αυτής.

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is (a) the digital creation of the three-dimensional (3D) model of the "Dromeas" sculpture (means "Runner" in Greek), an imposing work of the famous Greek sculptor Kostas Varotsos, (b) the creation of digital CAD drawings of its intersections and (c) the creation of a digital database for the sculpture, in which the user can intervene and update or process its data.

In the first chapter of this thesis, a few words are mentioned about the life of the sculptor Kostas Varotsos, his studies, the artistic stimuli during his career, his concerns and his first work of art completely made out of glass that was a landmark of his artistic identity (glass sculptures) and the starting point of his brilliant and international career. In addition, they are mentioned the history and the changes of exhibition and placement that the sculpture went through until it reached its current location in the square "Megali tou Genous Scholi", situated in front of Hilton hotel in Athens, are briefly described.

In the second chapter, is described the general theoretical background of the dissertation and all the work to be applied in practice during the following chapters are described in detail.

In the third chapter, are analyzed all the technical processes followed for the production of the three-dimensional (3D) model of the sculpture are analyzed. The use of three different software programs to achieve the same goal with the use of different media and data is explored and finally the most appropriate three-dimensional digital model is selected to be utilized and exploited in further studies and research.

In the fourth chapter, it is presented the importance of the existence of geometric CAD documentation drawings for the conservation processes of any object in general is presented. Also, it is presented the detailed technical procedures followed for the creation of this type of drawings for the sculpture of Dromeas, as well as the final products are described.

In the fifth chapter, the importance of creating a correct, comprehensive and thorough database on monuments, buildings, religious sites, historical and artistic objects etc. is explained, for the purpose of presenting their place and time of origin to a cohort of people and in general for

preserving the cultural heritage. Furthermore in, during this chapter are explained the technical procedures that were followed for the creation of a simple database that contains geometrical (height, CAD drawing of sections etc.), conceptual (location, materials used, views, other views and plans) and meteorological information for the concerned sculpture are explained and also the final results are displayed.

In the sixth and final chapter, the conclusions of this diploma thesis are presented. In addition, some they are presented proposals for the utilization of both this study and the results obtained upon its completion (3D model, CAD drawings, database for the Dromeas sculpture) are made. The exploitation proposals span from potential commercial purposes to extensions to possible further scientific work. Moreover, different ways of addressing or potentially improving the methods used herein, are also discussed.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Καθ' όλη τη διάρκεια της παρουσίας του ανθρώπου πάνω στον πλανήτη, η δημιουργία κατασκευών που εξυπηρετούν διάφορες δραστηριότητες (όπως επαγγελματικές, οικονομικές, κοινωνικές, θρησκευτικές πολιτισμικές κ.α.) είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ύπαρξή του. Η ανακάλυψη και μελέτη των κατασκευών αυτών, αποκαλύπτει και τονίζει τη διαφορετικότητα ανάμεσα στους λαούς σε κάθε επίπεδο της καθημερινότητας και δη στον τρόπο που εκφράζονταν μέσω των κατασκευών (κατοικίες, εκκλησίες, μνημεία, θέατρα, κτλ.) ή και της τέχνης (γλυπτά, ζωγραφική, κτλ). Με την παρακολούθηση, ανάλυση, τεκμηρίωση και μελέτη των έργων και αντικειμένων αυτών, γίνονται αντιληπτές πολλές χρήσιμες πληροφορίες για την εξέλιξη του ανθρώπου πάνω στη γη προσφέροντας ανεκτίμητη ιστορική γνώση. Με τη συστηματική καταγραφή και διατήρηση αυτών των τεκμηρίων, εξασφαλίζεται η διαχρονική μετάδοση των σχετικών πληροφοριών στις μελλοντικές γενιές και η ιστορική μνήμη.

Λόγω των παραπάνω, στη σημερινή εποχή η σπουδαιότητα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης των ανθρώπινων και μη κατασκευών που υπάρχουν στον πλανήτη είναι αδιαμφισβήτητα αναγνωρισμένη και αποτελεί βασικό μέλημα των αρμόδιων επιστημόνων. Οι τρόποι αποτύπωσης των αντικειμένων με σκοπό την τεκμηρίωσή τους είναι είτε με τοπομετρικές, είτε με τοπογραφικές, είτε με φωτογραμμετρικές μεθόδους και όπως είναι λογικό, το βέλτιστο αποτέλεσμα προκύπτει από το συνδυασμό δύο ή και περισσότερων από τις προαναφερθέντες μεθόδους.

Ανάλογα με το αντικείμενο μελέτης, τις ιδιότητές του και τη μετέπειτα χρήση των παράγωγων προϊόντων, χρησιμοποιείται ο κατάλληλος εξοπλισμός για τη συλλογή των πρωταρχικών δεδομένων. Τα δεδομένα για τις συνήθεις διαδικασίες αποτύπωσης και γεωμετρικής τεκμηρίωσης ενός αντικειμένου μπορούν να είναι μεταξύ άλλων τοπογραφικές μετρήσεις μηκών και γωνιών για την εύρεση της θέσης του στο χώρο και τον υπολογισμό των σχετικών αποστάσεων και της κλίμακάς του, νέφη σημείων που έχουν προκύψει από τριδιάστατες σαρώσεις και επίσης φωτογραφίες, αεροφωτογραφίες ή και δορυφορικές εικόνες που απεικονίζουν το αντικείμενο ενδιαφέροντος.

Φυσικά, η συλλογή όλων των παραπάνω δεδομένων δεν θα είχε ουσιαστικό λόγο ύπαρξης αν δεν υπήρχε η δυνατότητα επεξεργασίας των πληροφοριών και μετατροπής τους σε αξιοποιήσιμα παράγοντα προϊόντα.

Τα παλαιότερα χρόνια, πριν την ανάπτυξη τεχνολογιών πληροφορικής, η επεξεργασία και αξιοποίηση των δεδομένων αυτών γινόταν κυρίως χειροκίνητα μέσω του ανθρώπινου παράγοντα. Η γεωμετρική τεκμηρίωση – απεικόνιση λοιπόν των αντικειμένων γινόταν με χειρόγραφα γραμμικά σχέδια βασισμένα στα δεδομένα που συλλέχθηκαν. Πλέον όμως στη σημερινή εποχή, η αξιοποίηση των δεδομένων πραγματοποιείται σχεδόν αποκλειστικά με τον συνδυασμό της χρήσης κάποιου εξελιγμένου και υπερσύγχρονου λογισμικού (software) και τις γνώσεις και χειρισμό ενός σχετικού επιστήμονα-επαγγελματία. Οι μορφές τεκμηρίωσης που μπορεί να λάβει ένα αντικείμενο είναι η δημιουργία του τριδιάστατου μοντέλου του σε ψηφιακή και φυσική μορφή (στην περίπτωση ομοιώματος μικρής κλίμακας) και η παραγωγή ψηφιακών σχεδίων CAD των τομών, κατόψεων, αξονομετρικών και προοπτικών σχεδίων, κτλ.

Προκειμένου όμως ένα αντικείμενο να θεωρηθεί πλήρως τεκμηριωμένο από γεωμετρικής αλλά και εννοιολογικής απόψεως, είναι απαραίτητη η δημιουργία μιας εμπειριστατωμένης Βάσης Δεδομένων για το ίδιο, στη οποία θα καταγράφονται στοιχεία που αφορούν την ιστορία του, τα υλικά από τα οποία κατασκευάστηκε, την ημερομηνία κατασκευής του, ατυχή συμβάντα ή φθορές που μπορεί να έχει υποστεί στο χρόνο, κτλ.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση (γεωμετρική και εννοιολογική) του γλυπτού "Δρομέας" του γλύπτη Κώστα Βαρώτσου, δοκιμάζοντας και εξερευνώντας τις δυνατότητας διαφόρων ειδών δεδομένων και λογισμικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΓΛΥΠΤΟ «ΔΡΟΜΕΑΣ» ΚΑΙ ΤΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟ ΤΟΥ

1.1. Ο γλύπτης



Εικόνα 1.1. Ο γλύπτης Κώστας Βαρώτσος [60].

Ο Κώστας Βαρώτσος (εικόνα 1.1) είναι ένας από τους πιο διάσημους Έλληνες γλύπτες με διεθνή φήμη και εικαστικές παρεμβάσεις σε όλο τον κόσμο. Γεννημένος το 1955 στην Αθήνα, σπούδασε από το 1973 έως το 1976 στην Ακαδημία Καλών Τεχνών της Ρώμης (Accademia di Belle Arti, Rome). Ύστερα, συνέχισε τις σπουδές του από το 1976 έως το 1981 στον τομέα της Αρχιτεκτονικής στο

Πανεπιστήμιο της Πεσκάρα (Arte Scuola di Architettura, University of Pescara), ενώ το 1990 έλαβε μια μονοετή υποτροφία στο ίδρυμα Fulbright της Νέας Υόρκης. Το 1999 εξελέγη καθηγητής στο Πολυτεχνείο του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου της Θεσσαλονίκης, στο οποίο δίδασκε έως πρόσφάτως Εικαστικές Τέχνες στο τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών.

Ο Κώστας Βαρώτσος τα πρώτα 15 χρόνια της ζωής του, έζησε στην Αμαλιάδα στην Πελοπόννησο και στην συνέχεια στην Λιβαδειά στη Βοιωτία. Ο ίδιος, θεωρεί τον εαυτό του τυχερό που μεγάλωσε στην επαρχία διότι ζώντας κοντά στη φύση ανέπτυξε άμεση σχέση με αυτή. Ακόμη, νιώθει ευγνώμων που του προσφέρθηκαν ευκαιρίες για ταξίδια, από τα οποία έλαβε αφορμή να παρατηρήσει τη σχέση ανάμεσα στην παραγωγή πολιτισμού στην Ελλάδα και την έκφραση αυτού στο εξωτερικό. Κατά την διάρκεια των σπουδών του στην Ρώμη, ασχολήθηκε με την περίοδο της Αναγέννησης, η οποία τον σαγήνεψε σε αφάνταστο βαθμό. Ακολούθησε το δρόμο της γλυπτικής έχοντας την πεποίθηση πως η σύγχρονη τέχνη είναι ένα είδος το οποίο κατά την παρουσίασή του στην κοινωνία, πρέπει να απολογηθεί για αυτό που είναι και να περάσει από μεγάλες αντιπαλότητες και εχθρότητες.

Ο Κώστας Βαρώτσος έχει συμμετάσχει σε πολυάριθμες εκθέσεις και διαγωνισμούς και έχει κερδίσει σημαντικές διακρίσεις και βραβεία τόσο στην Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό. Τα σημαντικότερα, είναι το βραβείο γλυπτικής Segno d' Oro το 2017 για την συνολική καλλιτεχνική του προσφορά στην Ιταλία, η τιμητική διάκριση "Cavaliere dell' Ordine della Stella della Solidarieta' Italiana" το 2004 από τον Πρόεδρο της Ιταλικής Δημοκρατίας, το βραβείο για το καλύτερο γλυπτό από το Year in Review το 2004 στο Palm Beach της Φλόριντα στις ΗΠΑ για το έργο του «Συγκοινωνούντα Δοχεία» και το "Medal of Commander of the Order of Merit" το 2017, το οποίο παρέλαβε από τον Πρόεδρο της Ελληνικής Δημοκρατίας.

Τα έργα του Κώστα Βαρώτσου διακρίνονται για τις αφηρημένες και μινιμαλιστικές μορφές τους, καθώς και τα αντισυμβατικά υλικά από τα οποία κατασκευάζονται, όπως το γυαλί και το μέταλλο. Πολλές φορές, καταφέρνει να ενσωματώσει σε αυτά στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος, όπως το νερό, το φως και ο αέρας. Ορισμένα από τα πιο εμβληματικά έργα του γλύπτη είναι τα εξής: La Morgia στα Απέννινα Όρη της Ιταλίας, οι Ορίζοντες στην έκθεση τέχνης Biennale στην Βενετία, το Tension-Energy στην Λουκέρνη της Ελβετίας, το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο έργο τέχνης που έχει τοποθετηθεί σε δημόσιο χώρο, ο Ποιητής στην Λευκωσία της Κύπρου και ο Δρομέας στο κέντρο της Αθήνας.

Συγκεκριμένα, τα δύο τελευταία γλυπτά (ο Ποιητής (εικόνα 1.2) και ο Δρομέας) συνδέονται άρρηκτα μεταξύ τους, αφού σύμφωνα με το γλύπτη, ο Ποιητής γέννησε τον Δρομέα. Ο Ποιητής δημιουργήθηκε το 1983 από τον Κώστα Βαρώτσο στην Λευκωσία της Κύπρου. Η συνήθης



περιγραφή ενός ποιητή με *Εικόνα 1.2. Το γλυπτό «ο Ποιητής» στη* επίθετα όπως το αιχμηρός, *Λευκωσία της Κύπρου [61].*

εύθραυστος, επιθετικός, αυτοκτονικός και εκρηκτικός, έδωσε το έναυσμα στον γλύπτη, ώστε να ξεκινήσει την «περιπέτεια», δηλαδή την περίφημη καριέρα του στα γυάλινα γλυπτά. Όλα τα παραπάνω επίθετα που περιγράφουν έναν ποιητή, συγκεντρώνονται στην όψη του γυαλιού και συνεπώς το γλυπτό δεν θα μπορούσε να κατασκευαστεί με άλλο υλικό πέρα από αυτό. «Το

γυαλί ουσιαστικά είναι ένα container χώρου, δηλαδή το φως περνάει μέσα του και είναι σαν να περιγράφει ένα κομμάτι του χώρου. Βάζοντας τα γυαλιά το ένα πάνω στο άλλο, είναι η τέλεια ισορροπία μεταξύ χώρου και χρόνου», όπως έχει αναφέρει ο γλύπτης. Ο ίδιος, κατά την κατασκευή του Ποιητή, έχει ομολογήσει πως ένιωθε την παρουσία του γλυπτού σαν κάτι τόσο δυνατό που δεν μπορούσε καν να του γυρίσει την πλάτη σαν να γεννιέται κάτι ζωντανό και μη ελεγχόμενο από αυτόν. Ο Ποιητής, υπήρξε το πρώτο γλυπτό από γυαλί του Κώστα Βαρώτσου.

1.2. Ο Δρομέας

Ο Δρομέας κατασκευάστηκε για πρώτη φορά το 1988 στο πλαίσιο της καλλιτεχνικής δράσης «Δρώμενα», που οργανώθηκε από τον Δήμο Αθηναίων. Η καλλιτεχνική δράση αυτή, προέβλεπε την τοποθέτηση έργων τέχνης σε διάφορα μέρη της Αθήνας για διάστημα ενός μήνα, με σκοπό την προώθηση νέων Ελλήνων καλλιτεχνών και την εξοικείωση των κατοίκων της πόλης στη θέα καλλιτεχνημάτων στον αστικό ιστό. Με την παρότρυνση του τότε Αντιδημάρχου Πολιτισμού και σπουδαίου μουσικοσυνθέτη Σταύρου Ξαρχάκου και την συμπαράσταση του τότε Δημάρχου Αθηναίων Μιλτιάδη Έβερτ, ο Κώστας Βαρώτσος δημιούργησε το γλυπτό του Δρομέα.



Εικόνα 1.3. Το γλυπτό «Δρομέας» στην αρχική του τοποθεσία, στην πλατεία Ομονοίας [50].

Η πρώτη του τοποθέτηση, ήταν στην πλατεία Ομονοίας (εικόνα 1.3) στην κορυφή του πυραμιδωτού σιντριβανιού, με σκοπό να παραμείνει εκεί μέχρι το πέρας της καλλιτεχνικής δράσης. Το αρχικό όνομα του γλυπτού ήταν «Ξένος» και είχε άμεση σχέση με την θέση στην οποία

επιλέχθηκε να τοποθετηθεί. Ο Κώστας Βαρώτσος, εμπνεύστηκε το συγκεκριμένο έργο από τους χιλιάδες

ανθρώπους που έρχονταν και έφευγαν βιαστικά από την κεντρική, για την Αθήνα, πλατεία Ομονοίας. Επιπλέον, την εποχή εκείνη η Ελλάδα άρχισε να αναπτύσσει μια νέα και διαρκώς αυξανόμενη ταχύτητα προς την εξέλιξη, κάτι το οποίο άγγιξε τον καλλιτέχνη. Η ταχύτητα αυτή, οφειλόταν στην θέληση για την πραγματοποίηση του ονείρου της Ευρωπαϊκής Κοινότητας και της συνύπαρξης του Έλληνα πολίτη σε μια

ευρύτερη Ευρωπαϊκή Ένωση με ίσους όρους και δικαιώματα. Για τους παραπάνω λόγους, ο Δρομέας έλαβε την μορφή ενός βιαστικού περαστικού, που δεν περιμένει και χάνεται με σκοπό να φτάσει στον προορισμό του. Εξαιτίας όμως της παρομοίωσης της μορφής του από τους πολίτες, με έναν δρομέα που τρέχει σε αγώνες, το γλυπτό σύντομα έλαβε το όνομα ο Δρομέας.

Το γλυπτό είχε προκαλέσει πολυποίκιλες αντιδράσεις από τους κατοίκους και κατάφερε κατά κάποιο να διχάσει την Αθήνα. Λόγω, της μεγάλης αυτής απήχησης και των σχολίων που απέσπασε και ύστερα από την προτροπή της τότε Υπουργού Πολιτισμού Μελίνας Μερκούρη, αποφασίστηκε το γλυπτό να παραμείνει στην Ομόνοια και μετά την λήξη της καλλιτεχνικής δράσης.

Ο Δρομέας είναι ένα γλυπτό κατασκευασμένο από στοιβαγμένες επιφάνειες γυαλιού, το συνδετικό υλικό ανάμεσά τους (ειδική κόλλα) που τις ενώνει και τις κρατάει σταθερές και έναν σιδερένιο σκελετό στο κέντρο του, ενώ το ύψος του ανέρχεται στα 8 μέτρα. Ο Κώστας Βαρώτσος ακολούθησε την ίδια τεχνική κατασκευής που είχε χρησιμοποιήσει για πρώτη φορά στο γλυπτό «Ποιητής» στην Κύπρο το 1983, διότι ήθελε να επιτρέψει στο ανθρωπόμορφο γλυπτό να διατηρήσει την αμεσότητα και την απλότητα ενός σκαριφήματος. Με τη χρήση του γυαλιού, κατέστη δυνατή η ενσωμάτωση της φύσης στο γλυπτό, καθώς το φως που διαπερνά το υλικό του, προσδίδει μια άλλη διάσταση που μαγεύει.

Το 1993, ο Κώστας Βαρώτσος ενημερώθηκε για την κατασκευή της στάσης του μετρό «Ομόνοια», η οποία θα διερχόταν υπογείως από την πλατεία Ομοנוίας. Το γεγονός αυτό τον ανάγκασε να αλλάξει τη θέση του Δρομέα, καθώς ο αρχικός προσωρινός χαρακτήρας του δεν του επέτρεπε να παραμείνει στην πλατεία αυτή εφόσον δεν είχε πραγματοποιηθεί για αυτόν η κατάλληλη στατική μελέτη. Δεν ήταν όμως εφικτή ούτε η απόφια μεταφορά του, καθώς δεν ήταν και πάλι σχεδιασμένος για τέτοιου είδους αλλαγές.

Έτσι, τον Μάιο του 1993, ο Δρομέας καταστράφηκε ολοσχερώς και τον Μάρτιο του 1994 κατασκευάστηκε εκ νέου στη σημερινή του τοποθεσία, δηλαδή επί της οδού Βασιλίσσης Σοφίας στην Πλατεία Μεγάλης του Γένους Σχολής, μπροστά από το ξενοδοχείο Hilton (εικόνα 1.4).

Ο Κώστας Βαρώτσος, σε παλαιότερες συνεντεύξεις του, δηλώνει δυσαρεστημένος από αυτή την μεταφορά, καθώς ο Δρομέας είναι ένα έργο το οποίο έπρεπε να παραμείνει στην Ομόνοια, από την οποία γεννήθηκε η ιδέα για αυτόν. Μάλιστα, το Αττικό Μετρό, είχε πραγματοποιήσει χρηματοδότηση ύψους 10.000.000 δραχμών, με σκοπό

την υλοποίηση κατάλληλων τεχνικών έργων, έτσι ώστε ο Δρομέας να επανέλθει στην Ομόνοια μετά την ολοκλήρωση των έργων του μετρό.



Εικόνα 1.4. Το γλυπτό «Δρομέας» στη σημερινή του τοποθεσία, στην πλατεία Μεγάλη του Γένους Σχολή, μπροστά από το ξενοδοχείο Hilton [62].

Παρ' όλα αυτά, το όραμα αυτό δεν πραγματοποιήθηκε εξαιτίας του ανοιχτού αρχιτεκτονικού διαγωνισμού που διοργανώθηκε το 1998 στο πλαίσιο αναμόρφωσης όλων των πλατειών της Αθήνας. Οι αλλαγές που επέφερε αυτός ο διαγωνισμός στην πλατεία Ομονοίας, κατέστησαν αδύνατη την τοποθέτηση του γλυπτού στην παλιά του θέση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΝΕΦΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

2.1. Γεωμετρική τεκμηρίωση αντικειμένων – μνημείων

Στο παρόν υπο-κεφάλαιο, αναλύεται η σπουδαιότητα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων και γενικότερα άλλων αντικειμένων, κτηρίων, κατασκευών ιστορικής πολιτισμικής αξίας, καθώς επίσης αναφέρονται περιληπτικά οι βασικότερες μέθοδοι της διαδικασίας αυτής.

2.1.1. Η σπουδαιότητα της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων

Καθ' όλη τη διάρκεια της παρουσίας του ανθρώπου πάνω στον πλανήτη, η δημιουργία κατασκευών που εξυπηρετούν σε δραστηριότητες διαφόρων ειδών (όπως επαγγελματικές, οικονομικές, κοινωνικές, πολιτισμικές, θρησκευτικές κ.α.) είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ύπαρξή του. Από τα αρχαία χρόνια και με διαρκώς αυξανόμενη πορεία καθώς εξελίσσονται οι τεχνικές κατασκευής και η τεχνολογία, προέκυψε η ανάγκη του ανθρώπου να σχεδιάζει και να κατασκευάζει μικρά ή μεγάλα έργα όπως για παράδειγμα αγάλματα, θρησκευτικά μνημεία, τεμένη και χώρους λατρείας, ναούς, κατοικίες, θέατρα, κτηριακά συγκροτήματα, βιομηχανίες, βιοτεχνίες, πάρκα αναψυχής, οδικά & συγκοινωνιακά έργα, έργα γεφυροποιίας, κτλ. Τις τελευταίες δεκαετίες, η τεχνολογία και οι νέες μέθοδοι παραγωγής έργων έχουν αναπτυχθεί ραγδαία. Οι εξελίξεις αυτές κατέστησαν αναγκαία την εξεύρεση σύγχρονων και καινοτόμων μεθόδων αποτύπωσης, προστασίας και διατήρησης της ανθρώπινης και όχι μόνο κληρονομιάς. Δύο σημαντικά γεγονότα που υποδεικνύουν την σπουδαιότητα της παραπάνω ανάγκης σε διεθνές επίπεδο, είναι η σύμβαση καθιέρωσης της προστασίας των Μνημείων από την Χάρτα της Βενετίας (άρθρο 16) το 1964 και το Συνέδριο κατά τη Γενική Διάσκεψη της UNESCO το 1972 για την μέριμνα της προστασίας του παγκόσμιου πολιτισμού και της φυσικής κληρονομιάς [26].

Η διασφάλιση της πολιτισμικής κληρονομιάς και η γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων, κτηρίων και γενικότερα έργων, βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς επιστημονικούς τομείς. Η σπουδαιότητα του παραπάνω εγχειρήματος είναι αδιαμφισβήτητα σημαντική διότι με αυτόν τον τρόπο καθίσταται εφικτή η παρακολούθηση της πορείας «ζωής» ενός έργου και

των φθορών, παρεμβάσεων ή καταστροφών που μπορεί να έχει υποστεί. Η σύνταξη σχεδίων κατόψεων, όψεων και τομών για ένα μνημείο επιτρέπουν την καταγραφή λεπτομερειών και διευκολύνουν την ανάλυσή του με σκοπό τη διεξαγωγή εργασιών συντήρησής ή αναστήλωσής αν καταστεί αναγκαίο, αλλά και οποιοδήποτε άλλου είδους μελέτης ή έρευνας για το μνημείο. Ιδιαίτερα, η τεκμηρίωση μνημείων και έργων πολιτισμικής κληρονομιάς σε ηλεκτρονική μορφή, επιτρέπει την παρουσίαση αυτών σε πολύ μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων και εκτός των συνόρων της χώρας καθώς δεν είναι πλέον αναγκαία η φυσική παρουσία του ενδιαφερόμενου για την επισκόπηση ενός έργου. Επιπλέον, η ηλεκτρονική μορφή ενός έργου καθιστά εφικτή τη δημιουργία μιας Βάσης Δεδομένων έτσι ώστε να οργανώνονται καλύτερα οι γεωμετρικές, ιστορικές και αρχιτεκτονικές πληροφορίες για αυτό, καθώς επίσης και να είναι διαθέσιμες στο ευρύτερο κοινό, με εύχρηστο και προσβάσιμο τρόπο μέσω υπολογιστή, ακόμη και εξ αποστάσεως. Επομένως, η γεωμετρική τεκμηρίωση και διασφάλιση ενός μνημείου ή έργου μπορεί να παρομοιαστεί με *"ένα πολιτισμικό στιγμιότυπο, μια πολιτιστική «φωτογραφία»"* [14] της οποίας η διερεύνηση δίνει πολύ ενδιαφέρουσες και χρήσιμες πληροφορίες για το παρελθόν. Δημιουργείται έτσι, κατά κάποιον τρόπο, ένα *"αποθετήριο πολιτιστικής κληρονομιάς"*, ανθεκτικό στο χρόνο που αποτυπώνει με επιστημονικά ορθό και αξιόπιστο τρόπο το μνημείο. Μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το πολιτικό, κοινωνικό, οικονομικό, πολιτιστικό και αρχιτεκτονικό περιβάλλον που επικρατούσε την εκάστοτε εποχή, διαμορφώνοντας ή «συμπληρώνοντας» έτσι κενά στην ιστορία του παρελθόντος [14] [25] [26]. Επιπλέον, επιτρέπουν συγκριτικές μελέτες διαφόρων επί μέρους χαρακτηριστικών των μνημείων, σε διαφόρων βαθμών λεπτομέρειας, με τρόπο εύκολο και ηλεκτρονικά τεκμηριωμένο.

Με τον όρο *"γεωμετρική τεκμηρίωση κατασκευής"* ορίζεται η καταγραφή της θέσης, του μεγέθους, της δομής και της μορφής μιας κατασκευής σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, στο χώρο των τριών διαστάσεων [Λάμπρου, Πανταζής, 2011] [17].

Τα βασικά στάδια εκπλήρωσης της διαδικασίας γεωμετρικής τεκμηρίωσης κατασκευών είναι 8 στο σύνολο και παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω [Λάμπρου, Πανταζής, 2011] [17]:

1. Αναγνώριση της κατασκευής, προετοιμασία και φωτογραφική τεκμηρίωση. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται επί τόπου στο πεδίο και είναι σημαντική διότι γίνεται εξοικείωση με τον χώρο και καταγράφονται σημεία λεπτομέρειάς του που χρήζουν περισσότερης προσοχής κατά τις μετρήσεις.

2. Σύνταξη των αυτοσχεδίων πεδίου. Πρόκειται για σκαριφήματα που σχεδιάζονται με ελεύθερο χέρι και χωρίς κλίμακα. Περιέχουν όλη την πληροφορία του κάθε τμήματος της κατασκευής με όλες τις λεπτομέρειες που πρέπει να ληφθούν υπόψη και είναι αυτά που "καθοδηγούν" τη διαδικασία της αποτύπωσης.
3. Ίδρυση και μέτρηση τριδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου, στο χώρο της κατασκευής. Η ίδρυση του δικτύου αυτού, εξασφαλίζει τη σύνδεση (οριζοντιογραφική και υψομετρική) των επιμέρους χώρων της κατασκευής, τη μεταφορά (χάραξη) διευθύνσεων και υψομέτρων. Συνήθως χρησιμοποιείται αυθαίρετο σύστημα αναφοράς προκειμένου να αποφευχθούν οι παραμορφώσεις του σχήματος ή του μεγέθους του αντικειμένου, αλλά σε περιπτώσεις που ζητηθεί, τα ψηφιακά σχέδια του αντικειμένου μπορούν να ενταχθούν σε κρατικό σύστημα αναφοράς.
4. Γενική οριζοντιογραφική αποτύπωση του ευρύτερου χώρου και της κατασκευής. Αφορά στην παραγωγή γενικού τοπογραφικού διαγράμματος σε μεσαία ή μικρή κλίμακα, ανάλογα με τις ανάγκες της κατασκευής και της μετέπειτα χρήσης τους, προκειμένου να οριστεί η θέση της κατασκευής στον περιβάλλοντα χώρο. Μπορεί να ενταχθεί και πάλι σε κρατικό ή αυθαίρετο σύστημα αναφοράς.
5. Αποτύπωση των σημείων λεπτομερειών ώστε να αποδοθούν με ακρίβεια και επιθυμητή ανάλυση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής. Η διαδικασία αυτή χωρίζεται σε δύο μέρη:
 - στην αποτύπωση των οριζόντιων τομών, δηλαδή στην παραγωγή διαγραμμάτων που απεικονίζουν την μορφή μιας κατασκευής στα σημεία που τέμνεται από ένα οριζόντιο επίπεδο, όπως αυτό ορίζεται σε μια συγκεκριμένη θέση (ύψος).
 - στην αποτύπωση των κατακόρυφων τομών – όψεων, δηλαδή στην παραγωγή διαγράμματος στο οποίο απεικονίζεται η μορφή μιας κατασκευής στα σημεία όπου αυτή τέμνεται από ένα κατακόρυφο επίπεδο, όπως αυτό ορίζεται σε μια συγκεκριμένη θέση.
6. Αναλυτική επεξεργασία των μετρήσεων (υπολογισμοί).

Τα αποτελέσματα του παραπάνω σταδίου (δηλαδή οι μετρήσεις για τα σημεία λεπτομέρειας των οριζόντιων και κατακόρυφων τομών), αποθηκεύονται στη μνήμη του γεωδαιτικού σταθμού. Στη συνέχεια, οι μετρήσεις αυτές μετατρέπονται σε τριδιάστατες συντεταγμένες (x_i, y_i, z_i) για όλα τα σημεία που μετρήθηκαν και τα σημεία που ορίζουν οριζόντιες τομές μεταφέρονται με τη χρήση κατάλληλων λογισμικών

σε σχεδιαστικά προγράμματα CAD ώστε να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία και αξιοποίησή τους. Όμως τα σημεία τα οποία αναφέρονται σε κατακόρυφη τομή - όψη, προκειμένου να μπορέσουν να αξιοποιηθούν πρέπει να υποβληθούν σε κατάλληλους μετασχηματισμούς, έτσι ώστε να είναι δυνατή μετέπειτα η προβολή τους σε ένα κατακόρυφο επίπεδο.

Με άλλα λόγια, είναι αναγκαίο να υπολογιστούν νέες συντεταγμένες για όλα τα σημεία αυτά σε ένα καινούργιο σύστημα αναφοράς. Η δημιουργία αυτού του νέου συστήματος συντεταγμένων, βασίζεται σε μια στροφή των συντεταγμένων των σημείων από το ένα σύστημα αναφοράς στο άλλο και σε μια μετάθεση στην αρχή του νέου συστήματος. Στο νέο αυτό σύστημα αναφοράς, ο άξονας (x) θα είναι παράλληλος με το επίπεδο που δημιουργεί η κατακόρυφη τομή - όψη, ο δεύτερος (y) θα είναι κάθετος στον άξονα αυτόν και στο επίπεδο της τομής και ο τρίτος άξονας (z) θα είναι κάθετος στο επίπεδο των δύο προηγούμενων αξόνων [17].

Επομένως, έστω ένα σημείο i της κατακόρυφης τομής στο αρχικό σύστημα αναφοράς xOy με αρχή το κέντρο O . Ο υπολογισμός των νέων συντεταγμένων του σημείου αυτού στο καινούργιο σύστημα αναφοράς, στην περίπτωση που η αρχή της κατακόρυφης τομής (A) ταυτίζεται με το νέο κέντρο του καινούργιου συστήματος αναφοράς (O'), υπολογίζονται από τις εξής μαθηματικές σχέσεις:

$$x_i' = \cos\varphi \cdot (x_i - x_A) - \sin\varphi \cdot (y_i - y_A) \quad (2.1.)$$

$$y_i' = \sin\varphi \cdot (x_i - x_A) + \cos\varphi \cdot (y_i - y_A) \quad (2.2.)$$

όπου: x_A, y_A οι συντεταγμένες του αρχικού σημείου A της τομής στο σύστημα xOy

Στην περίπτωση που η αρχή της κατακόρυφης τομής (A) δεν ταυτίζεται με την αρχή O' του νέου συστήματος αναφοράς, τότε οι νέες συντεταγμένες των σημείων υπολογίζονται από τις εξής μαθηματικές σχέσεις:

$$x_i' = x_A + \cos\varphi \cdot (x_i - x_A) - \sin\varphi \cdot (y_i - y_A) \quad (2.3.)$$

$$y_i' = y_A + \sin\varphi \cdot (x_i - x_A) + \cos\varphi \cdot (y_i - y_A) \quad (2.4.)$$

Επιπλέον, η γωνία φ στους παραπάνω τύπους ονομάζεται γωνία στροφής και υπολογίζεται ως εξής:

- $\varphi = \alpha_{\text{τομής}}$ ώστε ο άξονας y να είναι παράλληλος στο επίπεδο της τομής κατά την στροφή του συστήματος
- $\varphi = \alpha_{\text{τομής}} - 100g$ ώστε ο άξονας x να είναι παράλληλος στο επίπεδο της τομής κατά την στροφή του συστήματος

όπου: $\alpha_{\text{τομής}}$ η γωνία διεύθυνσης του ίχνους του κατακόρυφου επιπέδου της τομής στο αρχικό σύστημα αναφοράς xOy .

7. Ψηφιακή σχεδίαση, δηλαδή παραγωγή μιας σειράς διαγραμμάτων όπως γενική οριζοντιογραφία, οριζόντιες τομές (κατόψεις), κατακόρυφες τομές και αναπτύγματα, προκειμένου να ολοκληρωθεί η γεωμετρική τεκμηρίωση της κατασκευής.
8. Έλεγχος του γεωμετρικού αποτελέσματος. Αφορά τον σχολαστικό έλεγχο εγκυρότητας των ψηφιακών αποτελεσμάτων μέσω τοπομετρικών μετρήσεων στο πεδίο, όπου αυτό είναι εφικτό. Σκοπός είναι η ταύτιση της γεωμετρικής πληροφορίας των διαγραμμάτων με την πραγματική κατασκευή (π.χ. διαστάσεις δομικών στοιχείων, λανθασμένη απόδοση σημείων κ.α.).

2.1.2. Μέθοδοι Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων

Με την πάροδο των χρόνων, η επιστήμη του Τοπογράφου Μηχανικού έχει εξελιχθεί ραγδαία, καθώς έχουν εισαχθεί σύγχρονες και εξελιγμένες τεχνολογίες, κυρίως με τη χρήση Πληροφορικής. Οι μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων, κτιρίων και γενικότερα αξιοσημείωτων αντικειμένων έχουν αναπτυχθεί σε εντυπωσιακό βαθμό σε σχέση με παλαιότερα χρόνια. Από τη χρήση αναλογικών στη χρήση αναλυτικών και μετέπειτα ψηφιακών φωτογραμμετρικών σταθμών, η διαδικασία γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων αποτελεί μια σύνθεση των παραπάνω μεθόδων, τεχνολογιών, τεχνικών και οργάνων.

Στη σύγχρονη εποχή, η επίτευξη της διαδικασίας γεωμετρικής τεκμηρίωσης συνδυάζει (i) τοπομετρικές, (ii) τοπογραφικές και (iii) φωτογραμμετρικές μεθόδους με σκοπό την παραγωγή μελετών υψηλής ακρίβειας και ορθού γεωμετρικού αποτελέσματος, όπως επεξηγείται σύντομα παρακάτω:

- (i) Στην αποτύπωση με *τοπομετρικές μεθόδους*, πραγματοποιούνται οι μετρήσεις μηκών, πλευρών, τριγώνων, διαγώνιων και υψομέτρων με την

χρήση απλών μέσων, όπως η μετροταινία, το νήμα στάθμης και το αλφαδολάστιχο. Η μέθοδος αυτή μειονεκτεί σε σχέση με τις υπόλοιπες, καθώς είναι σπάνιο να αποδοθεί η επιθυμητή ακρίβεια λόγω αναγκαστικών παραδοχών που πραγματοποιούνται κατά τις μετρήσεις. Έτσι, είναι λογικό η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου να βρίσκει εφαρμογή μόνο σε αποτυπώσεις μικρών αντικειμένων με απλές γεωμετρικά όψεις (ευθείες και επίπεδες επιφάνειες) και όχι σε αντικείμενα μεγάλου μεγέθους και περίπλοκης γεωμετρίας.

(ii) Κατά την αποτύπωση με *τοπογραφικές μεθόδους* χρησιμοποιείται εξελιγμένος εξοπλισμός υψηλής ακρίβειας όπως ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που μετρούν τα μήκη με ή χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί με επιπλέον τη δυνατότητα σάρωσης, επίγειοι σαρωτές laser καθώς και τα παρελκόμενά του όπως τρίποδες, ανακλαστήρες, αυτοκόλλητοι στόχοι, spray ή μαρκαδόροι για τη σήμανση των στάσεων κ.α. Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτύπωσης, προϋποθέτει την ίδρυση τριγωνομετρικού ή πολυγωνομετρικού δικτύου προτού ξεκινήσουν οι μετρήσεις.

(iii) Για αποτυπώσεις με *φωτογραμμετρικές μεθόδους* είναι επίσης αναγκαίος ο κατάλληλος εξοπλισμός, όπως φωτογραφικές μηχανές, drone, ψηφιακοί φωτογραμμετρικοί σταθμοί κ.α. Με τη χρήση των παραπάνω μέσων, επιτυγχάνεται η αποτύπωση του επιθυμητού αριθμού σημείων (πρακτικά άπειρων ή όπως ονομάζεται "νέφους σημείων" διαφόρων βαθμών πυκνότητας) για το αντικείμενο ενδιαφέροντος με πολύ ικανοποιητικό ποσοστό ακρίβειας και πληρότητας κάλυψης αυτού.

Το καλύτερο αποτέλεσμα για την τεκμηρίωση μνημείων, προκύπτει από το συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων, ενώ φυσικά, για την ολοκληρωμένη αξιοποίησή τους, είναι απαραίτητη η μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων τους με ειδικά λογισμικά (software). Παρακάτω, περιγράφονται γενικά στοιχεία για τη χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού χωρίς ανακλαστήρα, τη συλλογή νεφών σημείων από τριδιάστατους σαρωτές laser και μέσω της χρήσης εικόνων από εναέρια μέσα, καθώς οι υπόλοιπες μέθοδοι και εξοπλισμός δεν σχετίζονται με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας [14] [24] [26].

2.2. Αντίστροφη μηχανική

Γενικά, ο όρος μηχανική αναφέρεται στη διαδικασία μετατροπής μιας ιδέας ή ενός σχεδίου σε έτοιμο προϊόν, υπηρεσία ή κατασκευή. Ειδικότερα, στον τομέα της τοπογραφίας και φωτογραμμετρίας, ο όρος αυτός αναφέρεται στη διαδικασία μετατροπής μια ιδέας-έννοιας σε ψηφιακό μοντέλο και στη συνέχεια σε υλικό τριδιάστατο αντικείμενο στο χώρο. Αντίθετα, ο όρος αντίστροφη μηχανική (Reverse Engineering) αναφέρεται στη διαδικασία παραγωγής ψηφιακών μοντέλων και σχεδίων ήδη υπαρχόντων τριδιάστατων αντικειμένων με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, μετρήσεων και CAD (Computer-Aided Design) λογισμικών. Μέσω της αντίστροφης μηχανικής δίνεται η δυνατότητα ψηφιακής απεικόνισης και μοντελοποίησης αντικειμένων των οποίων τα πρωτότυπα σχέδια δεν υπάρχουν, σε ψηφιακή μορφή είτε λόγω ανωτέρας βίας (διαγραφή τους, απώλεια, ήταν παλιά αναλογικά σχέδια και δεν έχουν ψηφιοποιηθεί κ.τ.λ.) είτε διότι η κατασκευή τους δεν βασίστηκε σε αυτά (στη ψηφιακή μορφή τους). Εκτός αυτού, τα παράγωγα σχέδια CAD ενός υπάρχοντος αντικειμένου ή κτιρίου, είναι απαραίτητα για την σύγκρισή τους με τα παλαιότερα με σκοπό τον εντοπισμό μετακινήσεων, φθορών και αλλαγών σε αυτά και συνεπώς την επιδιόρθωσή τους, αποκατάστασή τους ή ακόμη και ανακατασκευή τους [1][41][43].

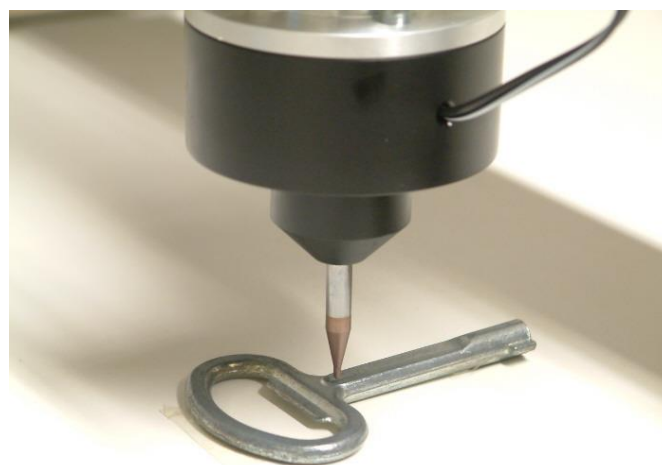
Η αντίστροφη μηχανική βρίσκει εφαρμογή σε πολυποίκιλους τομείς τόσο της καθημερινότητας όσο και σε επιστημονικά πεδία. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο τομέας παραγωγής και σχεδιασμού βιομηχανικών προϊόντων, στον οποίο πραγματοποιείται έλεγχος της ποιότητας και της αξιοπιστίας ενός προϊόντος. Σε χώρους όπου είναι απαραίτητη η άρτια αισθητική των αντικειμένων, όπως η βιομηχανία αυτοκινήτων, πλοίων, ο χώρος του θεάματος ή ο χώρος ένδυσης, υπόδησης και σχεδιασμού κοσμημάτων, μουσεία και εκθέσεις αντικειμένων τέχνης, η αντίστροφη μηχανική βοηθά στον πειραματισμό της σχεδίασης νέων προϊόντων από διαφορετικά υλικά, υφή, μορφές και σχήματα. Επίσης είναι χρήσιμη στην τεκμηρίωσή τους και στην απεικόνισή τους όχι μόνο σε δισδιάστατες οθόνες υπολογιστή αλλά και σε τριδιάστατη ψηφιακή μορφή. Στον τομέα της ιατρικής, η αντίστροφη μηχανική εφαρμόζεται μεταξύ άλλων για τη δημιουργία ψηφιακών ομοιωμάτων εμφυτευμάτων (ή και 3D εκτύπωσής τους) ώστε να προληφθούν αστοχίες κατά την μεταμόσχευση του ασθενούς λόγω λανθασμένου σχήματος ή μεγέθους τους. Επιπλέον, η αντίστροφη μηχανική χρησιμοποιείται για τη δημιουργία τριδιάστατων ψηφιακών μοντέλων των οργάνων των ασθενών πριν την έναρξη ενός χειρουργείου, έτσι ώστε να διευκολύνονται οι ιατροί, με το να εξετάζουν a-priori το σχήμα και τα ελαττώματα των οργάνων με σκοπό τη μείωση των απρόσμενων εξελίξεων κατά τη διάρκεια του χειρουργείου. Τέλος, η

εφαρμογή της αντίστροφης μηχανικής είναι πολύ σημαντική για την διατήρηση της πολιτισμικής κληρονομιάς. Μέσω της τριδιάστατης ψηφιακής απεικόνισης κτιρίων, μνημείων, αγαλμάτων, αρχαιολογικών ευρημάτων, ακόμη και ολόκληρων χώρων κ.α., καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση αλλαγών σε αυτά λόγω καιρικών διαβρώσεων ή από το πέρασμα του χρόνου, καθώς επίσης δίνεται η δυνατότητα διατήρηση της μορφής τους ακόμη και στην περίπτωση ολικής καταστροφής τους [1] [41].

2.2.1. Βασικά στάδια εκτέλεσης της διαδικασίας της αντίστροφης μηχανικής

▪ Συλλογή δεδομένων - Ψηφιοποίηση

Κατά το πρώτο στάδιο, πραγματοποιείται η λήψη δεδομένων που αφορούν στη γεωμετρική πληροφορία του τριδιάστατου αντικειμένου ενδιαφέροντος και εν συνεχεία, η πληροφορία αυτή αποθηκεύεται σε ψηφιακή μορφή. Η συλλογή δεδομένων, μπορεί να πραγματοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με το μέγεθος, το σχήμα, την πολυπλοκότητα, το υλικό, την ζητούμενη ακρίβεια, την τοποθεσία και την προέλευση του αντικειμένου. Ο πιο σύνηθες τρόπος συλλογής είναι με τη χρήση κάποιου τριδιάστατου σαρωτή (3D laser scanner). Οι σαρωτές λειτουργούν με αισθητήρες οι οποίοι καταγράφουν την πληροφορία που συναντούν με αριθμητικά δεδομένα (numerical data). Ανάλογα με την μέθοδο του τρόπου συλλογής των δεδομένων, οι σαρωτές διαχωρίζονται σε αυτούς που οι αισθητήρες τους έρχονται σε επαφή με το αντικείμενο (εικόνα 2.1) (tactile method), είτε σε αυτούς που οι αισθητήρες λαμβάνουν τα απαραίτητα δεδομένα από απόσταση (εικόνα 2.2) (non-contact method) [1][38].



Εικόνα 2.1. Απεικόνιση ανιχνευτή με αισθητήρες που έρχονται σε επαφή με το αντικείμενο (tactile method) [68].



Εικόνα 2.2. Απεικόνιση ανιχνευτή με αισθητήρες που δεν έρχονται σε επαφή με το αντικείμενο (non-contact method) [69].

Οι σαρωτές που εφαρμόζουν την μέθοδο επαφής, χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως ρομποτικά χέρια (βραχίονες με μεταλλικά άκρα) ή συσκευές CMM (Coordinate Measuring Machines). Με τον τρόπο αυτό, αν και χρονοβόρος, επιτυγχάνεται η λεπτομερής και προσεκτική συλλογή δεδομένων, απαλλαγμένα σε μεγάλο βαθμό από περιττούς θορύβους. Οι σαρωτές αυτοί προτείνονται για τη σάρωση μικρών αντικειμένων ή τμημάτων μεγαλύτερων, στα οποία υπάρχουν καμπύλες και περίπλοκες όμως λείες επιφάνειες. Παρ' όλα αυτά, δεν προτείνονται για μεγάλα αντικείμενα, αντικείμενα κατασκευασμένα από μαλακά υλικά ή για αρχαιολογικά ευρήματα πολιτιστικής κληρονομιάς λόγω της φθοράς που μπορεί να προκληθεί κατά την επαφή [1] [41].

Οι σαρωτές που εφαρμόζουν τη μέθοδο συλλογής δεδομένων από απόσταση, βασίζονται στην ανάκλαση είτε του φωτός, είτε του ήχου ή του μαγνητικού πεδίου πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου. Ο σαρωτής λαμβάνει τα κύματα της αντανάκλασης αυτής και με βάση την απόσταση και την ταχύτητα λήψης, υπολογίζει την γεωμετρία του αντικειμένου. Οι πιο διαδεδομένοι σαρωτές είναι αυτοί που λειτουργούν με 3D laser scanner. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται για κάθε αντικείμενο. Είναι όμως ευαίσθητη σε αντικείμενα κατασκευασμένα από γυαλιστερά ή διαφανή και ημιδιαφανή υλικά, όπως το γυαλί, διότι είναι συχνό φαινόμενο η δέσμη του laser λόγω της ανακλαστικότητας του φωτός να αποπροσανατολίζεται και έτσι να δημιουργούνται λανθασμένα δεδομένα (artifacts) σε θέσεις που δεν θα έπρεπε να υπάρχουν. Σε κάθε περίπτωση, σε όλες τις μεθόδους σάρωσης με την χρήση κάποιου σαρωτή, πρέπει να υπάρξει αλληλοεπίδραση με το αντικείμενο με άμεση ή έμμεση επαφή ώστε να επαληθεύονται και να επικυρώνονται οι μετρήσεις [1] [41].

Ένας ακόμη τρόπος συλλογής δεδομένων για την παραγωγή νέφους σημείων ενός αντικειμένου, αποτελεί η λήψη δισδιάστατων εικόνων. Γνωρίζοντας την σχετική θέση της κάμερας με την οποία ελήφθησαν οι εικόνες και τον εσωτερικό της προσανατολισμό (δηλαδή την συσχέτιση των εικόνων στον χώρο μεταξύ τους και σε σχέση με το κέντρο προβολής της κάμερας), καθίσταται εφικτός ο υπολογισμός της τριδιάστατης προβολής ενός σημείου στον χώρο και συνεπώς της κατασκευής ενός αραιού νέφους σημείων και χαρτών που υποδηλώνουν το βάθος του αντικειμένου ενδιαφέροντος.

- *Επεξεργασία των δεδομένων*

Από το παραπάνω στάδιο, το αποτέλεσμα που προκύπτει, ανεξάρτητα από τη μέθοδο συλλογής των δεδομένων, είναι ένα τριδιάστατο νέφος σημείων για το αντικείμενο. Στο κάθε σημείο αντιστοιχούν συντεταγμένες (x, y, z, i) οι οποίες υποδηλώνουν την θέση του στον χώρο $- x, y -$, το βάθος ή ύψος του $- z -$ καθώς και πληροφορίες για το χρώμα του $- i -$. Η πυκνότητα και η ακρίβεια του νέφους σημείων, εξαρτάται από το πλήθος των μετρήσεων που ελήφθησαν καθώς και από τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για αυτό. Η επεξεργασία του νέφους σημείων, αφορά μεταξύ άλλων την εξομάλυνσή του, δηλαδή την απομάκρυνση περιττού για το αντικείμενο θορύβου, την πιθανή συνένωση νεφών από ίδιες ή και διαφορετικές πηγές προέλευσης και την διάσπασή τους για την καλύτερη διαχείρισή τους [1].

- *Δημιουργία του ψηφιακού τριδιάστατου CAD μοντέλου*

Στο στάδιο αυτό, πραγματοποιείται η ανακατασκευή του τριδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου ενδιαφέροντος από το παραπάνω νέφος σημείων, δημιουργώντας τμήματα επιφανειών μέσω των κατάλληλων λογισμικών. Το νέφος σημείων, ανάλογα με την πυκνότητα και την ακρίβειά του, παρέχει πρωτογενείς πληροφορίες για το σχήμα, το μέγεθος και πολλές φορές το χρώμα του αντικειμένου. Όμως, το τελικό αυτό στάδιο είναι απαραίτητο προκειμένου να αποδοθούν όλες οι ιδιότητες του αντικειμένου σε αυτό, όπως παραδείγματος χάριν η υφή του, η καμπυλότητά του, το είδος της επιφάνειάς του κ.α., με σκοπό να ανακατασκευαστεί πλήρως και πιστά σε σχέση με το πραγματικό αντικείμενο [1] [44]. Η παραπάνω διαδικασία απεικονίζεται και στην εικόνα 2.3 που ακολουθεί.

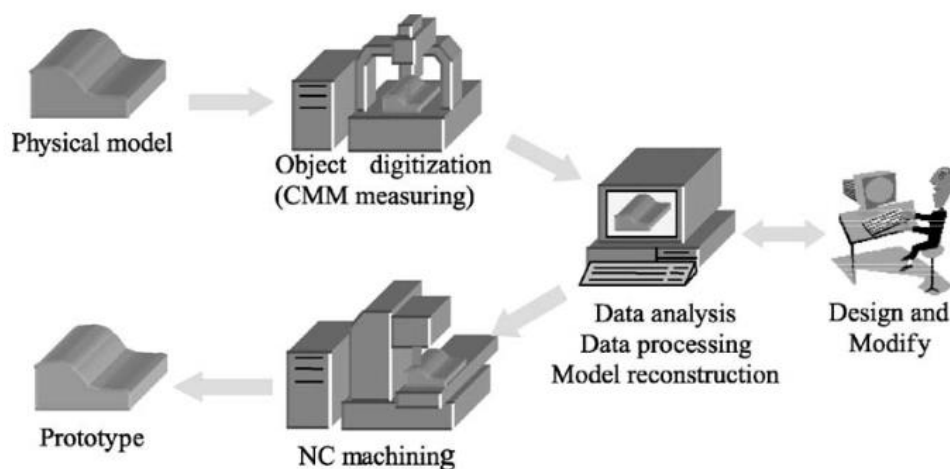


Fig. 1. Working processes of RE.

Σχήμα 2.1. Σχηματική απεικόνιση των βασικών σταδίων εκτέλεσης της διαδικασίας της αντίστροφης μηχανικής [44].

Στο παρακάτω υπο-κεφάλαιο (2.3), αναλύεται το θεωρητικό και πρακτικό υπόβαθρο μιας σύγχρονης και διαδεδομένης μεθόδου επεξεργασίας και παραγωγής τριδιάστατων μοντέλων.

2.3. Πολυεικονική διαδικασία τριδιάστατης ανακατασκευής

Στη σύγχρονη εποχή, η εξέλιξη της γνώσης και της τεχνολογίας έχουν επιτρέψει στον Τοπογράφο Μηχανικό τη συνεργασία με Ηλεκτρολόγους Μηχανικούς - Μηχανικούς Υπολογιστών και Προγραμματιστές (multi-disciplinary approach) με σκοπό τη δημιουργία νέων υπερσύγχρονων φωτογραμμετρικών προγραμμάτων με πλήθος δυνατοτήτων και λειτουργιών. Με τη χρήση τέτοιων προγραμμάτων, καθίσταται εφικτή η πλέον διαδεδομένη μέθοδος της πολυεικονικής επίλυσης, ή όπως αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία, Multi-View Stereo (MVS).

Η μέθοδος αυτή έχει ως σκοπό την τριδιάστατη ανακατασκευή εικονιζόμενων σκηνών από πλήθος εικόνων αγνώστου εξωτερικού (και πολλές φορές και εσωτερικού) προσανατολισμού και την ταυτόχρονη επίλυση των παραμέτρων των δύο αυτών προσανατολισμών για κάθε εικόνα που συμμετείχε στη μεθοδολογία.

Τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού για μια κάμερα είναι η σταθερά της μηχανής (c), η θέση του πρωτεύοντος σημείου στο εστιακό επίπεδο (x_0, y_0) και οι παράμετροι διαστρωφής του φακού (ακτινική διαστρωφή - Δr , έκκεντρη διαστρωφή) [7] [8]. Η διαδικασία

αποκατάστασης του εσωτερικού προσανατολισμού μιας κάμερας, δηλαδή η διαδικασία προσδιορισμού των παραπάνω στοιχείων εσωτερικής γεωμετρίας της μηχανής, ονομάζεται βαθμονόμηση. Σκοπός της διαδικασίας της βαθμονόμησης, είναι η αναγωγή των μετρήσεων στην εικόνα έτσι ώστε να "υπακούουν" καλύτερα στο μοντέλο της κεντρικής προβολής που περιγράφει την συγκεκριμένη μηχανή [8] ώστε να μπορούν να καταστούν ικανές για χρήση σε φωτογραμμετρικές διεργασίες.

Ο εξωτερικός προσανατολισμός περιγράφει τη θέση και τη στροφή της κάμερας στον χώρο, δηλαδή ορίζει τη θέση του προβολικού κέντρου και τη διεύθυνση του άξονα λήψης σε αυτόν. Για την κάθε εικόνα που συμμετέχει στην μέθοδο, οι παράμετροι του εξωτερικού προσανατολισμού είναι 6: (X_0, Y_0, Z_0) που αφορούν τη θέση και (ω, φ, κ) που αφορούν τη στροφή [21].

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η μέθοδος της πολυεικονικής ανακατασκευής αφορούν τα ακριβή αποτελέσματα που παράγονται, τον βαθμό ευκολίας που διαθέτει καθώς είναι σε μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένη, ενώ είναι ταυτόχρονα οικονομική και ιδανική για την μοντελοποίηση τόσο μικρών όσο και μεγάλων αντικειμένων.

Η πολυεικονική επίλυση (MVS) αποτελείται συνολικά από έξι στάδια, τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά στην παρακάτω σχηματική απεικόνιση (σχήμα 2.1) και εξηγείται σύντομα στις επόμενες παραγράφους (2.3.1 έως 2.3.6).



Σχήμα 2.2. Σχηματική απεικόνιση των σταδίων της διαδικασίας της πολυεικονικής επίλυσης [12].

2.3.1. Στάδιο συλλογής δεδομένων

Τα δεδομένα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, είναι δισδιάστατες εικόνες που λαμβάνονται από φωτογραφικές μηχανές αναλογικές ή ψηφιακές, ερασιτεχνικές ή επαγγελματικές, ή ακόμη και αεροφωτογραφίες από drone, από δορυφορικές λήψεις ή και από άλλα φωτογραφικά μέσα. Οι φωτογραφίες μπορούν να προέρχονται από οργανωμένες ή και μη οργανωμένες συλλογές εικόνων που έχουν ληφθεί από διαφορετικές φωτογραφικές μηχανές, από διαφορετικές γωνίες λήψης και αποστάσεις καθώς και σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Επιπλέον, ως αρχικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν εικόνες από βίντεο. Οι εικόνες πρέπει να έχουν βαθμό επικάλυψης μεταξύ τους το λιγότερο 20 ή 30 %, ενώ 80% θεωρείται ιδανικό ποσοστό επικάλυψης.

Επιπρόσθετα, εφόσον η κατασκευή του ψηφιακού τριδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου χρήζει γεωαναφοράς για τον προσδιορισμό της θέσης, του προσανατολισμού και του μεγέθους του στον χώρο και όχι απλά για την αυθαίρετη τοποθέτησή του σε αυτόν, είναι αναγκαία η διεξαγωγή τοπογραφικών μετρήσεων κατά το στάδιο της συλλογής δεδομένων στο πεδίο. Οι πληροφορίες αυτές, μπορούν να ληφθούν με δύο τρόπους: 1^{ov}) με δέκτη δορυφορικού εντοπισμού που έχει ενσωματωμένο το κάθε Drone με το οποίο γίνεται η λήψη των φωτογραφιών και 2^{ov}) με τη χρήση φωτοσταθερών σημείων (ground control points - GCP) που συνήθως έχουν τοποθετηθεί χειροκίνητα πάνω στο αντικείμενο με τη μορφή στόχων και των οποίων τα δεδομένα για τον υπολογισμό των συντεταγμένων (σε επίγειο ή αυθαίρετο σύστημα αναφοράς) έχουν ληφθεί με total station. Συγκεκριμένα, ο δεύτερος τρόπος παρόλο που είναι πιο επίπονος και χρονοβόρος, δίνει τα πιο ακριβή αποτελέσματα και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό επικαλυπτόμενων ζευγών εικόνων στο λογισμικό, στοχεύοντας την ακριβή τους θέση πάνω στις εικόνες που τα απεικονίζουν [12] [13].

2.3.2. Στάδιο προσανατολισμού των εικόνων – Μέθοδος Structure from Motion (SfM)

Παρακάτω αναφέρονται τα βήματα του σταδίου αυτού.

2.3.2.1. Συνταύτιση εικόνων

Στο παρόν στάδιο, επιτυγχάνεται η συνταύτιση των εικόνων με αυτόματη αποκατάσταση των ομολογιών μεταξύ των σημείων, των τόνων του γκρι και των κοινών χαρακτηριστικών ανάμεσα στα επικαλυπτόμενα τμήματα

των εικόνων. Τα τελικά προϊόντα του σταδίου αυτού, αποτελούν οι παράμετροι του εξωτερικού και του εσωτερικού προσανατολισμού των εικόνων και η δημιουργία του αραιού νέφους σημείων για την εικονιζόμενη σκηνή.

Η διαδικασία της συνταύτισης των εικόνων διακρίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες: α) στην επιφανειακή συνταύτιση (area-based matching), β) στην συνταύτιση χαρακτηριστικών (feature-based matching) και γ) στην σχεσιακή συνταύτιση (relational matching) [13]. Παρακάτω αναλύονται συνοπτικά οι κατηγορίες αυτές.

A) Στην *επιφανειακή συνταύτιση*, χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι οι οποίοι εντοπίζουν ομοιότητες στις ψηφιακές τιμές των εικόνων, συγκρίνοντας στις τιμές των χρωμάτων ή των γκρίζων τόνων αν πρόκειται για ασπρόμαυρες εικόνες. Με τον τρόπο αυτό, καθορίζονται τα ομόλογα εικονοσημεία ανάμεσα στις εικόνες και δημιουργούνται ζεύγη εικόνων με βάση τα επικαλυπτόμενα τμήματά τους. Τα βασικά κριτήρια ομοιότητας με τα οποία εξετάζει ο αλγόριθμος τα εικονοστοιχεία των εικόνων στην εύρεση ομολογιών, αποτελούν ο συντελεστής συσχέτισης, το τυπικό σφάλμα, το άθροισμα των τετραγώνων των διαφόρων ψηφιακών τιμών, η συνάρτηση συμμεταβλητότητας, κτλ. Όπως είναι λογικό, *οι αλγόριθμοι αυτοί είναι ευαίσθητοι σε ραδιομετρικές μεταβολές μεταξύ των επικαλυπτόμενων εικόνων, που μπορεί να οφείλονται στα διαφορετικά σημεία λήψης των εικόνων, σε διαφορετικές στροφές των φωτογραφιών κατά τη λήψη, σε διαφορετικές ώρες λήψης, σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού κ.α.* [13]. Για το λόγο αυτό, η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να εμφανίσει χονδροειδή σφάλματα όταν πρόκειται για εικόνες από μη οργανωμένες συλλογές. Αν όμως το σύνολο δεδομένων είναι καλής ραδιομετρικής υφής και δεν εμφανίζει κάποια από τις παραπάνω μεταβολές, η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της και την ταχύτητα διεκπεραίωσης. Επίσης, η επιφανειακή συνταύτιση βρίσκει περισσότερες εφαρμογές σε περιπτώσεις εικόνων οι οποίες λήφθηκαν από κοντινά σημεία λήψης ή η χρονική διαφορά ανάμεσά τους είναι μικρή [13].

B) Η *συνταύτιση χαρακτηριστικών*, αποτελεί τη συνηθέστερη από τις παραπάνω μεθόδους συνταύτισης εικόνων. Όπως υποδηλώνει και η ονομασία της, στη μέθοδο αυτή εντοπίζονται χαρακτηριστικά σημεία σε μια εικόνα και έπειτα ανιχνεύονται τα ομόλογά τους στα επικαλυπτόμενα τμήματα των υπολοίπων εικόνων βάση αναζήτησης τοπικών πληροφοριών από τη γειτονιά τους. Ανάλογα με τη γεωμετρία των οντοτήτων ανίχνευσης, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη συνταύτιση μπορούν να εντοπίσουν σημεία, ακμές,

γραμμικά στοιχεία και επιφάνειες όπως πολύγωνα. Στη συνέχεια, η διαδικασία της συνταύτισης χωρίζεται σε δύο στάδια. Πρώτα, πραγματοποιείται η ανίχνευση, ο εντοπισμός και η εξαγωγή των χαρακτηριστικών οντοτήτων σε κάθε εικόνα ξεχωριστά και έπειτα τα χαρακτηριστικά αυτά αντιστοιχίζονται μεταξύ τους από εικόνα σε εικόνα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο σε εικόνες των οποίων οι λήψεις έχουν μεγάλο χρονικό διάστημα ανάμεσά τους ή επίσης που δεν έχουν ληφθεί από κοντινά σημεία.

Γ) Η *σχεσιακή συνταύτιση* βασίζεται στη σχεσιακή απόσταση (relational distance) ανάμεσα σε δύο σχεσιακές (συμβολικές) περιγραφές των χαρακτηριστικών δομών των εικόνων, τις οποίες χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος, συνήθως «δενδρικής αναζήτησης», για την συνταύτιση των εικόνων. Οι σχέσεις αυτές ανάμεσα στα χαρακτηριστικά μπορούν να είναι γεωμετρικές, ραδιομετρικές ή τοπολογικές και είναι ιδιαίτερες σημαντικές διότι συγκριτικά με άλλες μεθόδους, οι σχέσεις παραμένουν αμετάβλητες σε διάφορους μετασχηματισμούς καθώς περιγράφουν τις χωρικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα αντικείμενα των εικόνων.

Δύο από τους πιο διαδεδομένους αλγόριθμους ανίχνευσης και περιγραφής χαρακτηριστικών σημείων είναι ο SIFT (Scale Invariant Feature Transform) και ο SURF (Speeded-Up Robust Features). Ο SIFT έχει την ικανότητα να εντοπίζει σημεία ενδιαφέροντος τα οποία είναι αμετάβλητα σε μετασχηματισμούς στροφής και κλίμακας, καθώς επίσης και να είναι σε κάποιον βαθμό αμετάβλητα σε εναλλαγές φωτισμού, σε αλλαγές του σημείου λήψης των εικόνων και στην ύπαρξη θορύβου σε αυτές. Λειτουργεί με τη διαδικασία της συνέλιξης συνδυασμένη με φίλτρο εξομάλυνσης Gauss σε πυραμίδες εικόνων. Ο SURF παρουσιάζει πολλά κοινά χαρακτηριστικά στη λειτουργία του με τον SIFT, αφού στηρίχθηκε στις βασικές αρχές του, πετυχαίνοντας όμως καλύτερο χρόνο επεξεργασίας. Μια από τις διαφορές του είναι ότι *ενσωματώνει ανιχνευτή και περιγραφέα, οι οποίοι είναι ανεξάρτητοι από περιστροφή και κλίμακα* [13], ενώ είναι ανεξάρτητος και από μεταβολές φωτισμού και ραδιομετρικών αντιθέσεων [12] [13].

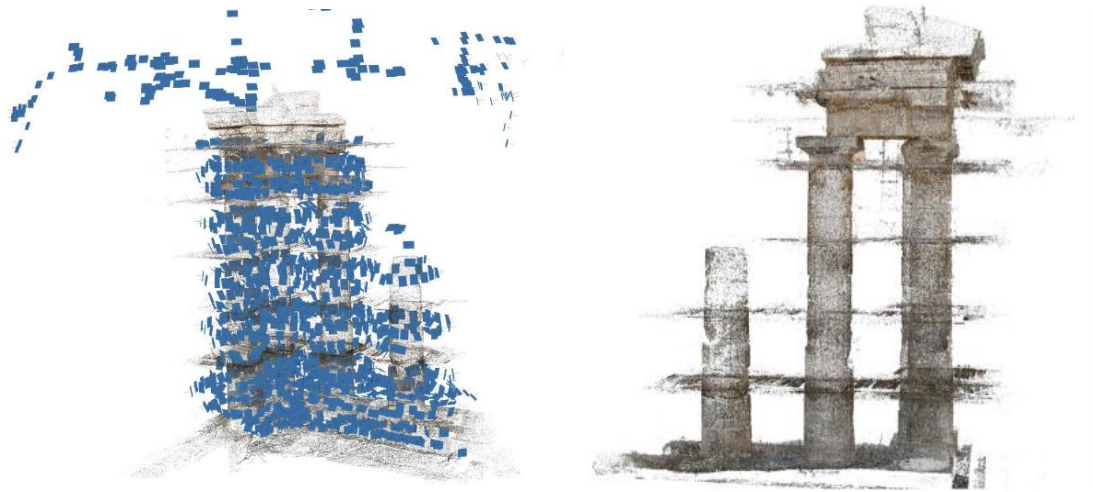
2.3.2.2. Μέθοδος Structure from Motion (SfM)

Την παραπάνω διαδικασία εντοπισμού των επικαλυπτόμενων τμημάτων των εικόνων και της συνταύτισης και οργάνωσης των ομολογιών, διαδέχεται ο υπολογισμός δομής από κίνηση ή αλλιώς Structure from Motion (SfM).

Συνοπτικά, η μέθοδος SfM επιτυγχάνει την εκτίμηση της θέσης λήψης και του προσανατολισμού της φωτομηχανής κατά τη διάρκεια της συλλογής των δεδομένων και επιπλέον εκτιμά την γεωμετρία της εικονιζόμενης σκηνής δημιουργώντας ένα τριδιάστατο αραιό νέφος σημείων, εκτιμώντας τις συντεταγμένες τους. Στο πρώτο σκέλος, υπολογίζει 6 παραμέτρους (X_0 , Y_0 , Z_0 , ω , ϕ , κ) για κάθε μια από τις εικόνες του block (συνόλου εικόνων) αποκαθιστώντας έτσι τον εξωτερικό τους προσανατολισμό σε τοπικό ή σε επίγειο σύστημα αναφοράς, ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα. Στο δεύτερο σκέλος των αποτελεσμάτων της, η μέθοδος SfM δημιουργεί το τριδιάστατο αραιό νέφος σημείων στο αντίστοιχο σύστημα αναφοράς που αποκαταστάθηκε και ο εξωτερικός προσανατολισμός των εικόνων. Επίσης, στην περίπτωση που τα δεδομένα δεν διαθέτουν παραμέτρους εσωτερικού προσανατολισμού, με το πέρας της μεθόδου αυτής πραγματοποιείται και η αυτοβαθμονόμησή τους (αποκαθίσταται ο εσωτερικός τους προσανατολισμός) [13].

Πλεονέκτημα της διαδεδομένης αυτής μεθόδου, αποτελεί το γεγονός πως τα δεδομένα εισόδου μπορούν να προέρχονται από την ίδια ή διαφορετικές μηχανές, από επίγειες ή εναέριας λήψεις-UAV ή ακόμη και να είναι ανεξάρτητα της γωνίας λήψης τους (κατακόρυφες, πλάγιες, ναυδρικές). Φυσικά, ύπαρξη εξωτερικού και εσωτερικού προσανατολισμού είναι περιττή αφού με το πέρας της αποκαθίστανται και οι δύο προσανατολισμοί για όλες τις εικόνες.

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι υπολογισμού δομής από κίνηση. Κατά τις βαθμωτές μεθόδους SfM (incremental SfM), που είναι οι συνηθέστερες, προσανατολίζεται μια εικόνα σε κάθε επανάληψη και για τον λόγο αυτόν εισάγονται σταδιακά οι εικόνες στη διαδικασία. Στις καθολικές μεθόδους SfM (global SfM), υπολογίζονται ταυτόχρονα και σε μια επανάληψη όλα τα τελικά προϊόντα, δηλαδή το τριδιάστατο αραιό νέφος σημείων της σκηνής και οι παράμετροι του εξωτερικού (και εσωτερικού αν υπάρχει ανάγκη) προσανατολισμού. Τέλος, οι ιεραρχικές μέθοδοι SfM (hierarchical SfM), ενσωματώνουν με αργούς ρυθμούς μικρές αλληλουχίες εικόνων ή ορισμένες ανακατασκευές [12]. Παρακάτω, (σχήμα 2.2 και σχήμα 2.3) παρουσιάζονται δύο ενδεικτικά παραδείγματα προσανατολισμού των φωτομηχανών και παραγωγής τριδιάστατου αραιού νέφους σημείων από επίγειες και εναέριας λήψεις μετά το πέρας του παρόντος σταδίου.



Σχήμα 2.3. Αποτελέσματα διαδικασίας SfM. Αριστερά απεικόνιση της θέσης και του προσανατολισμού των καμερών για δεδομένα λήψης από UAV και ποικίλων προσανατολισμών και δεξιά απεικόνιση του αραιού τριδιάστατου νέφους σημείων για το τυχαίο αντικείμενο [12].



Σχήμα 2.4. Αποτελέσματα διαδικασίας SfM. Απεικόνιση της θέσης και του προσανατολισμού των καμερών για επίγεια δεδομένα εικόνων ποικίλων προσανατολισμών και ταυτόχρονα απεικόνιση του αραιού τριδιάστατου νέφους σημείων για την τυχαία εικονιζόμενη σκηνή [12].

2.3.3. Στάδιο δημιουργίας χαρτών βάθους

Ως χάρτες βάθους (depth maps), ορίζονται οι δισδιάστατες αναπαραστάσεις μιας ήδη δισδιάστατης εικόνας, οι οποίες όμως περιέχουν πληροφορίες σχετικά με το βάθος του κάθε εικονοστοιχείου. Ως βάθος, ορίζεται η απόσταση που απέχει το κάθε εικονοστοιχείο από το σημείο λήψης της κάθε εικόνας. Η οπτικοποίηση των χαρτών αυτών

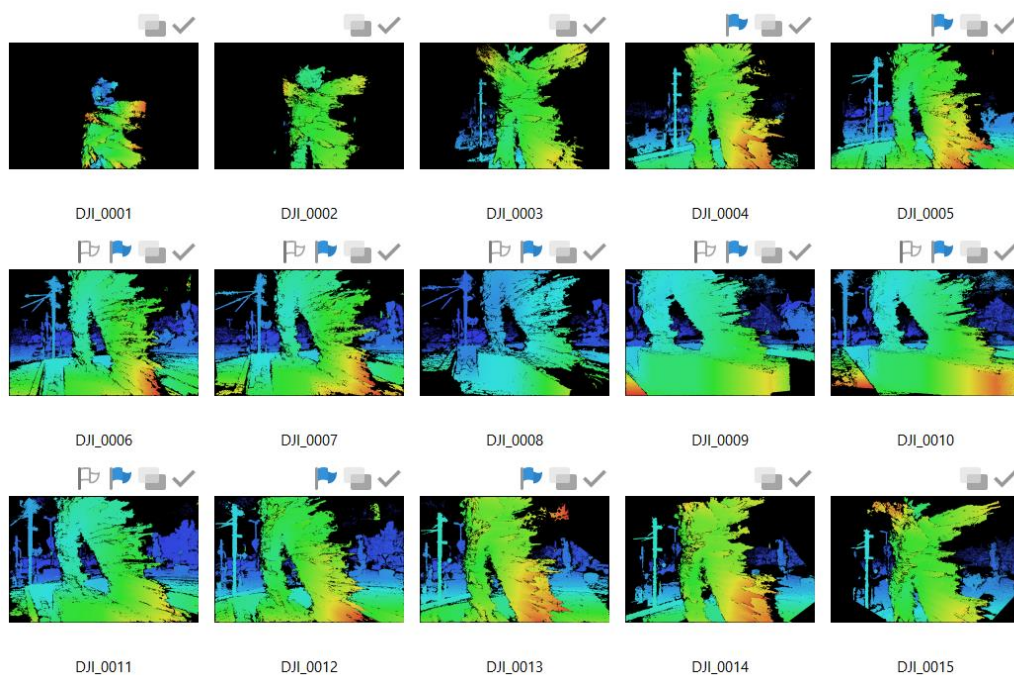
επιτυγχάνεται με την "μετάφραση" των τιμών του βάθους σε τιμές έντασης οι οποίες διαθέτουν χρώμα και έτσι γίνεται αντιληπτή η εναλλαγή των επιπέδων και των υψών των αντικειμένων στην εικόνα [12] [13]. Η διαδικασία παραγωγής των χαρτών βάθους ονομάζεται πυκνή συνταύτιση εικόνων (dense image matching). Κατά τη διαδικασία αυτή, ανιχνεύονται ομολογίες για όσο το δυνατόν περισσότερα εικονοστοιχεία μια εικόνας ενός ζεύγους γίνεται και αντιστοιχίζονται με τις ορατές ομολογίες του ζεύγους της. Οι εικόνες είναι αναγκαίο να διαθέτουν γνωστό εσωτερικό και εξωτερικό προσανατολισμό (δηλαδή σχετικό προσανατολισμό), γι' αυτό τον λόγο προηγούνται τα παραπάνω στάδια (2.3.1. και 2.3.2.). Επίσης, είναι βοηθητικό στις εικόνες αυτές να έχει προηγηθεί επιπολική επανασύσταση έτσι ώστε να εντοπιστούν πιο γρήγορα οι ομολογίες ανάμεσα στις επικαλυπτόμενες εικόνες. Το άμεσο προϊόν της διαδικασίας της πυκνής συνταύτισης εικόνων, είναι η οπτικοποίηση σε χάρτη της τιμής της "ψηφιακής παράλλαξης" για κάθε εικονοστοιχείο της κάθε εικόνας. Οι χάρτες αυτοί, ονομάζονται χάρτες παράλλαξης (disparity maps). Στη συνέχεια, με τις κατάλληλες αυτόματες διαδικασίες των αλγορίθμων, πραγματοποιείται η μετατροπή των χαρτών αυτών σε χάρτες βάθους, δηλαδή για κάθε εικονοστοιχείο υπολογίζεται η τιμή της απόστασης του από το σημείο λήψης της εικόνας αναφοράς [13]. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι η εξής:

$$H = c \cdot \frac{B}{d} \quad (2.5.)$$

όπου: c η σταθερά της μηχανής, B η βάση λήψης του στερεοζεύγους, d η ψηφιακή παράλλαξη



Εικόνα 2.3. Απεικόνιση ενδεικτικών ασπρόμαυρων χαρτών βάθους τυχαίων εικόνων [12]



Εικόνα 2.4. Παραδείγματα χαρτών βάθους για ενδεικτικές εικόνες από το πλήθος αεροφωτογραφιών του Drone για το μοντέλο του Δρομέα στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

2.3.4. Στάδιο παραγωγής πυκνού νέφους σημείων

Η παραγωγή ενός τριδιάστατου πυκνού νέφους σημείων μπορεί να προκύψει από 2 μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος είναι από την συγχώνευση των χαρτών βάθους που παρήχθησαν κατά το στάδιο 2.3.3. και η δεύτερη

μέθοδος είναι από την πύκνωση του αραιού νέφους σημείων που δημιουργήθηκε στο στάδιο 2.3.2.

2.3.4.1. Από τη συγχώνευση χαρτών βάθους

Η απλούστερη εκδοχή της διαδικασίας αυτής, είναι η παραγωγή πυκνού νέφους σημείων για μια εικονιζόμενη σκηνή από έναν μεμονωμένο χάρτη βάθους (ή χάρτη παράλλαξης). Πρώτα όμως, απαιτείται η μετατροπή των συντεταγμένων των χαρτών βάθους στο σύστημα των αρχικών εικόνων διότι κατά τη διαδικασία παραγωγής των χαρτών βάθους, οι εικόνες αυτές έχουν υποστεί επιπολική επανασύσταση. Η διαδικασία παραγωγής πυκνού νέφους σημείων από έναν χάρτη βάθους ακολουθεί τα παρακάτω βήματα για κάθε εικονοψηφίδα του [13]:

- Για συντεταγμένες (x,y) μιας εικονοψηφίδας στον χάρτη βάθους, η ομόλογή της εικονοψηφίδα στο σύστημα των αρχικών εικόνων υπολογίζεται από την σχέση: $(x',y') = (x+d,y+d)$ όπου d είναι η ψηφιακή παράλλαξη της εικονοψηφίδας της εικόνας αναφοράς που λαμβάνεται από τον χάρτη βάθους (ή τον χάρτη παράλλαξης).
- Στις δύο παραπάνω συντεταγμένες των εικονοψηφίδων, δηλαδή στις (x,y) και (x',y') , εφαρμόζεται ο αντίστροφος μετασχηματισμός επιπολικής επανασύστασης με σκοπό να υπολογιστούν οι επιθυμητές εικονοσυντεταγμένες στα συστήματα των αρχικών εικόνων.
- Τέλος, σύμφωνα με τις ομόλογες εικονοσυντεταγμένες που δημιουργήθηκαν στο δεύτερο στάδιο αλλά και με βάση τα στοιχεία εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού των δύο εικόνων (χάρτη βάθους και αρχικής εικόνας), εφαρμόζεται η μέθοδος της εμπροσθοτομίας και παράγονται οι τριδιάστατες συντεταγμένες του κάθε σημείου στο σύστημα συντεταγμένων στον χώρο.

Με την επανάληψη αυτών των βημάτων για κάθε εικονοψηφίδα του χάρτη βάθους προκύπτει το ζητούμενο τριδιάστατο νέφος σημείων.

Στην πιο συνηθισμένη περίπτωση όμως που υπάρχουν περισσότεροι του ενός χάρτες βάθους (ή χάρτες παράλλαξης) για την ίδια αρχική εικόνα αναφοράς, ακολουθείται σχεδόν η ίδια λογική των παραπάνω βημάτων. Η διαφορά εντοπίζεται στο πρώτο βήμα όπου για κάθε εικονοψηφίδα στην εικόνα αναφοράς (δηλαδή στους χάρτες βάθους) εντοπίζονται όλες οι ομόλογες εικονοψηφίδες στις αρχικές εικόνες αναζήτησης και στη συνέχεια εφαρμόζονται με τη σειρά τα παραπάνω βήματα. Το τριδιάστατο πυκνό νέφος σημείων που προκύπτει στην περίπτωση αυτή

περιέχει περισσότερες πληροφορίες και λεπτομέρειες καθώς διαθέτει δεδομένα από περισσότερες εικόνες.

Τέλος, στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι του ενός χάρτες βάθους για διαφορετικές αυτή την φορά εικόνες αναφοράς, συνηθίζεται να επιβάλλονται δεσμεύσεις συνέπειας ανάμεσα στους χάρτες βάθους με σκοπό την ανακατασκευή ενιαίας τριδιάστατης γεωμετρίας της εικονιζόμενης σκηνής.

2.3.4.2. Από την πύκνωση αραιού νέφους σημείων

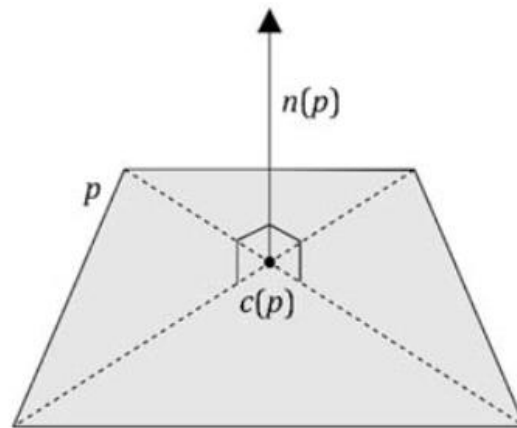
Η δεύτερη μέθοδος είναι από την πύκνωση του αραιού νέφους που δημιουργήθηκε στο στάδιο 2.3.2. Μια από τις βασικές μεθόδους πύκνωσης αραιού νέφους σημείων, είναι η PMVS (patch-based multi-view stereo), στις αρχές της οποίας στηρίζονται πολλοί ακόμη αλγόριθμοι τέτοιου είδους.

Τα δεδομένα εισαγωγής της συγκεκριμένης μεθόδου είναι τα στοιχεία του εσωτερικού και του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων που συμμετέχουν στην διαδικασία. Παρακάτω ακολουθούν συνοπτικά τα 3 βασικά βήματα εκτέλεσης της συγκεκριμένης μεθόδου.

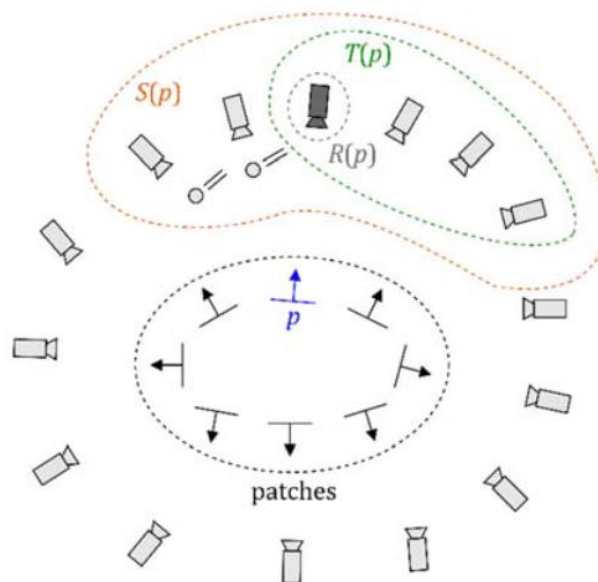
1^ο στάδιο συνταύτισης

Το τελικό προϊόν του παρόντος σταδίου είναι ένα αραιό σύνολο σημείων προσανατολισμένα μεταξύ τους, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως ένα από τα βασικά δεδομένα στα επόμενα στάδια για την πύκνωση. Ξεκινώντας, κάθε μια από τις εικόνες χωρίζεται σε ορθογώνιες υποπεριοχές στις οποίες ο κατάλληλος αλγόριθμος εντοπίζει έναν ορισμένο αριθμό χαρακτηριστικών σημείων, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ομοιόμορφη κάλυψη των εικόνων από τα σημεία αυτά. Γενικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε συνδυασμός τελεστών ανίχνευσης σημείων ενδιαφέροντος με οποιονδήποτε αλγόριθμο συνταύτισης, όπως παραδείγματος χάριν οι τελεστές Harris και DoG με τον κανονικοποιημένο συντελεστή συσχέτισης. Με τον τρόπο αυτό σε κάθε εικόνα I για κάθε ένα χαρακτηριστικό της σημείο f , ανιχνεύονται πιθανά ομόλογα χαρακτηριστικά σημεία f' στις υπόλοιπες εικόνες, τα οποία ικανοποιούν τη δέσμευση επιπολικής γεωμετρίας, δηλαδή κείνται σε μικρό εύρος περί την επιπολική ευθεία [13]. Στη συνέχεια, τα ομόλογα σημεία f' ταξινομούνται σε σειρά από την μικρότερη έως την μεγαλύτερη απόσταση που απέχουν από το σημείο λήψης O της αρχικής τους εικόνας I . Ξεκινώντας λοιπόν με το πρώτο σημείο f' αυτής της σειράς κατάταξης και με επαναλαμβανόμενες διαδικασίες, ορίζεται patch για το ζεύγος

σημείων f και f' . Με τον όρο "patch" ορίζεται ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο στον τριδιάστατο χώρο, που προσεγγίζει τοπικά την τριδιάστατη επιφάνεια, και ορίζεται από το κέντρο του και ένα μοναδιαίο διάνυσμα κάθετο σε αυτό, προσανατολισμένο προς τις φωτομηχανές που το "βλέπουν", δημιουργώντας έτσι ένα προσανατολισμένο σημείο στο κέντρο του patch (σχήμα 2.4 και σχήμα 2.5) [13].



Σχήμα 2.5. Απεικόνιση ενός patch (p) όπου $c(p)$ η αρχική εκτίμηση του κέντρου του patch και $n(p)$ η αρχική εκτίμηση του κάθετου διανύσματος του patch [13].



Σχήμα 2.6. Απεικόνιση της εικόνας αναφοράς $R(p)$ και των συνόλων εικόνων $S(p)$ και $T(p)$ που συνδέονται με το patch [13].

2° στάδιο επέκτασης

Σκοπός του συγκεκριμένου σταδίου είναι η δημιουργία πυκνού τριδιάστατου νέφους σημείων με τη χρήση των παραπάνω patches με την επέκταση των αρχικών ομολογιών των σημείων σε γειτονικές εικονοψηφίδες. Προτού ξεκινήσει αυτή η διαδικασία, στην περίπτωση που υπάρχουν χάρτες βάθους για τις εικόνες αναφοράς ανανεώνονται με βάση τα υπάρχοντα patches, ή διαφορετικά δημιουργούνται εκ νέου. Αρχικό βήμα, αποτελεί ο διαχωρισμός των εικόνων αναφοράς σε υπο-περιοχές/κελιά διαστάσεων κανονικού κανάβου (π.χ. 1x1 ή 2x2 εικονοψηφίδων). Με την επιβολή ορισμένων κριτηρίων επιλογής και με επαναλαμβανόμενες διαδικασίες, εντοπίζονται για κάθε patch (p) τα γειτονικά του κελιά και υπολογίζεται τουλάχιστον ένα νέο patch (p') σε κάθε ένα από τα κελιά αυτά. Το νέο patch αποθηκεύεται ως οριστικό και τέλος ενημερώνονται οι χάρτες βάθους με βάση τις νέες πληροφορίες που προέκυψαν από το πέρας του συγκεκριμένου σταδίου.

3° στάδιο φιλτραρίσματος

Στο τελευταίο αυτό στάδιο, όπως υποδεικνύει και η ονομασία του, με την επιβολή επιπρόσθετων δεσμεύσεων ορατότητας απομακρύνονται οι λανθασμένες ομολογίες των χαρακτηριστικών σημείων ή αλλιώς τα λανθασμένα patches που πιθανώς έχουν προκύψει. Με τον τρόπο αυτό, το αποτέλεσμα είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό της πραγματικότητας.

Γενικά η μέθοδος PMVS που μόλις αναλύθηκε, λειτουργεί ταυτόχρονα σε όλες τις εικόνες του συνόλου δεδομένων και έτσι είναι μια μέθοδος απαιτητική σε χωρητικότητα μνήμης του υπολογιστή και σε χρονική διάρκεια εκτέλεσης (χρονική και χωρική πολυπλοκότητα του σχετικού αλγορίθμου). Μια από τις παραλλαγές της μεθόδου η οποία επιλύει αυτό το θέμα, είναι η CMVS (clustering view for multi-view stereo). Η μέθοδος αυτή, δρα σε ομάδες εικόνων που δημιουργεί αυτόματα και εφαρμόζει μεμονωμένα στο κάθε σετ εικόνων ανεξάρτητα από την μέθοδο PMVS. Επιπλέον, στην περίπτωση που έχει προηγηθεί η διαδικασία υπολογισμού δομής από κίνηση - SfM (όπως αναλύθηκε στο υπό-κεφάλαιο 2.3.2.2.) και είναι διαθέσιμο το αραιό νέφος σημείων της ζητούμενης σκηνής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη μέθοδο παραγωγής πυκνού νέφους σημείων ως ένα από τα 3 αρχικά δεδομένα της, παραλείποντας έτσι το πρώτο στάδιο της συνταύτισης των ομολογιών των χαρακτηριστικών σημείων.

Επομένως, τα παραπάνω στάδια της μεθόδου PMVS μπορούν να συνοψιστούν οπτικά στο εξής διάγραμμα ροής (σχήμα 2.6):



Σχήμα 2.7. Διάγραμμα ροής της μεθόδου πύκνωσης αραιού νέφους σημείων PMVS [13].

2.3.5. Στάδιο δημιουργίας τριδιάστατης επιφάνειας

Όλα τα παραπάνω στάδια, αποτελούν την προετοιμασία των δεδομένων για την εφαρμογή τους στο παρόν και στο επόμενο στάδιο, κατά τα οποία ολοκληρώνεται η ουσιαστική τριδιάστατη ανακατασκευή μιας ζητούμενης σκηνης/αντικειμένου. Επομένως, στο παρόν στάδιο αναλύονται οι τελικές διαδικασίες στις οποίες υποβάλλονται το πυκνό νέφος σημείων ή/και ο/οι χάρτης/χάρτες βάθους για την πλήρωση του αρχικού σκοπού.

Ο όρος "τριδιάστατη επιφάνεια" από τη χρήση νέφους σημείων ή και χαρτών βάθους, περιγράφει την παραγωγή ενός πολυγωνικού μοντέλου (συνήθως τριγωνικού), το οποίο ονομάζεται mesh. Όπως είναι λογικό, τα δεδομένα εισόδου που δέχονται οι αλγόριθμοι τις περισσότερες φορές εμπεριέχουν κενούς τόπους-οπές και θόρυβο από ελλιπή, λανθασμένη ή και περιττή πληροφορία και καλούνται βάσει αυτών να ανακατασκευάσουν μια άγνωστη επιφάνεια. Για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων και την κάλυψη όλων των ατελειών με στόχο την ορθή γεωμετρικά και οπτικά ανακατασκευή των σκηνών, έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες μέθοδοι παραγωγής mesh επιφανειών από τριδιάστατα νέφη σημείων. Μερικές από αυτές τις μεθόδους είναι οι εξής:

- ✓ Μέθοδος Delaunay διαίρεσης σε τρίγωνα, όπου συνδέονται γειτονικά σημεία σχηματίζοντας τρίγωνα που δεν περικλείουν άλλα σημεία εσωτερικά τους.
- ✓ Μέθοδος διαγραμμάτων Voronoi, όπου σχηματίζονται πολυγωνικές επιφάνειες από σημεία τα οποία είναι κοντινότερα σε ένα εν λόγω σημείο από οποιοδήποτε άλλο.

- ✓ Μέθοδος κυρτού περιβλήματος (convex hull), όπου σχηματίζονται μικρά κυρτά πολύγωνα ή πολύεδρα τα οποία περιλαμβάνουν σημεία του νέφους και με κορυφές μερικά από τα σημεία αυτά.
- ✓ Μέθοδος α-σχημάτων (α-shapes/alpha shapes), όπου ο σχηματισμός των πολυγώνων σχετίζεται με τις μεθόδους του κυρτού περιβλήματος και Delaunay.
- ✓ Μέθοδος ανακατασκευής Poisson η οποία είναι η πιο διαδεδομένη και χρησιμοποιεί τα δεδομένα εισόδου για να δημιουργήσει μια δείκτρια συνάρτηση (indicator function), στην οποία στηρίζεται ο αλγόριθμος για την παραγωγή μιας ισο-επιφάνειας (iso-surface), δηλαδή για την ανακατασκευή του τριγωνικού μοντέλου επιφάνειας. Εφόσον το νέφος σημείων που χρησιμοποιείται σαν δεδομένο εισόδου δεν περιέχει μεγάλα ποσοστά θορύβου, η μέθοδος Poisson επιτρέπει την παραγωγή ικανοποιητικών και εξομαλυμένων αποτελεσμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες, ιδιαίτερα στην πλήρωση οπών στην παραγόμενη τριγωνική επιφάνεια στις περιοχές του νέφους όπου δεν υπάρχει επαρκής κάλυψη πληροφορίας.

Γενικά όμως για την ανακατασκευή μιας τριδιάστατης επιφάνειας, ως δεδομένα εισόδου μπορεί εκτός από το νέφος σημείων να χρησιμοποιηθούν και οι χάρτες βάθους, οι οποίοι δημιουργούνται όπως περιγράφεται στο στάδιο 2.3.3. Πολλές φορές, τα πλεονεκτήματα της μέθοδος αυτής υπερτερούν της χρήσης πυκνού νέφους σημείων διότι επιτρέπεται η χρήση όλης της πληροφορίας που διαθέτουν οι αρχικές εικόνες για την σκηνή/αντικείμενο ενδιαφέροντος. Επιπροσθέτως, εξοικονομείται χρόνος διότι παραλείπεται το στάδιο 2.3.4. της παραγωγής πυκνού νέφους σημείων από τις διαθέσιμες εικόνες [13].

2.3.6. Στάδιο απόδοσης υφής

Ως "απόδοση υφής" σε μια τριδιάστατη επιφάνεια, ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία μία δισδιάστατη απεικόνιση, η οποία ονομάζεται *χάρτης υφής (texture map)*, αποδίδεται σε ένα τριδιάστατο πολυγωνικό μοντέλο [13]. Τα δεδομένα του συγκεκριμένου σταδίου είναι οι εικόνες γνωστού εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού, που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί καθ' όλη την πορεία της τριδιάστατης ανακατασκευής, και φυσικά το τριδιάστατο πολυγωνικό μοντέλο του παραπάνω σταδίου.

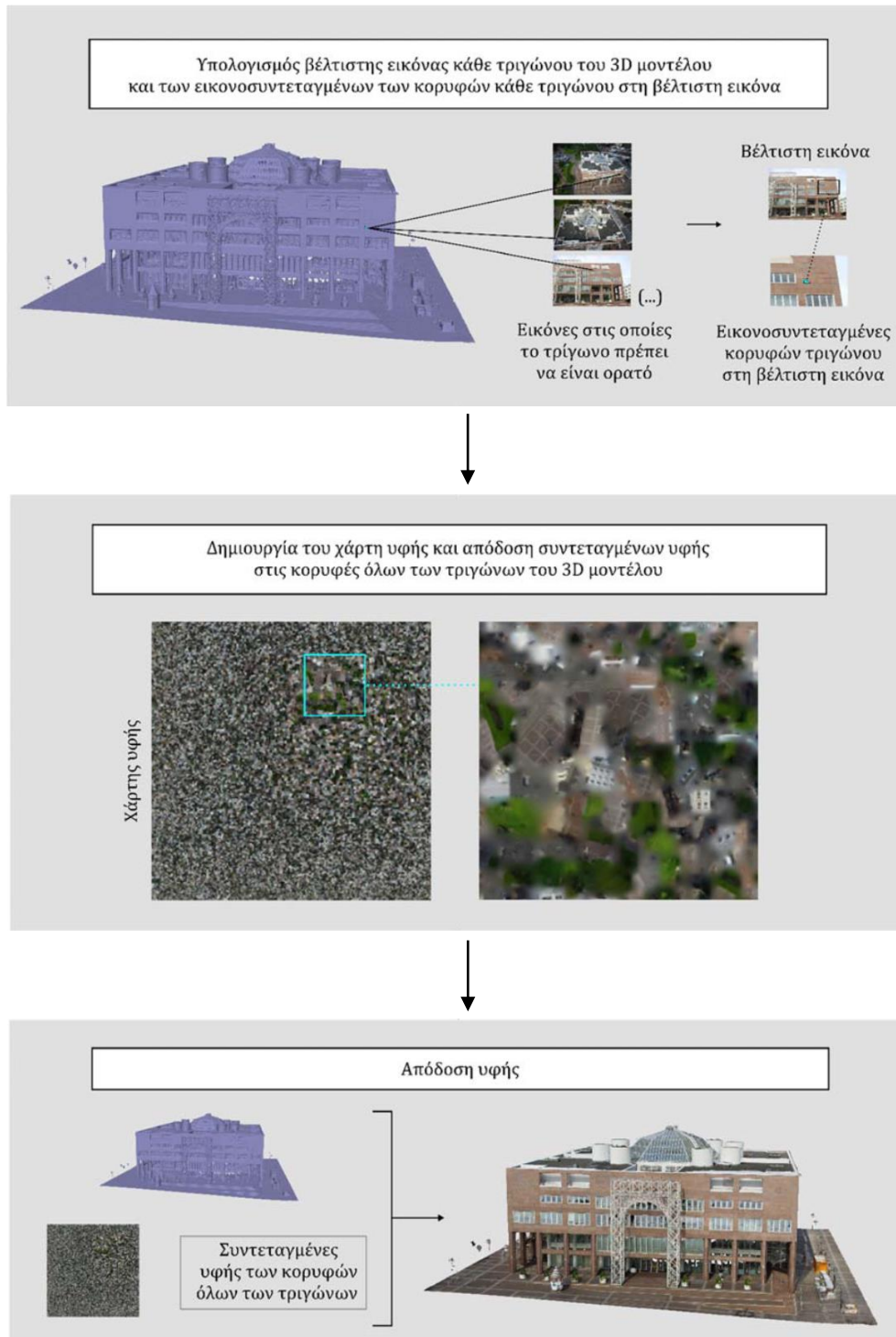
Η διαδικασία απόδοσης υφής που εφαρμόζεται αυτόματα από το εκάστοτε λογισμικό είναι η εξής:

- i. Αρχικά, για κάθε τριγωνική επιφάνεια (ή πολυγωνική ανάλογα με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε) του τριδιάστατου μοντέλου εντοπίζονται όλες οι διαθέσιμες εικόνες στις οποίες είναι ορατή η επιφάνεια αυτή. Τα απαραίτητα δεδομένα για τον προαναφερθέν εγχείρημα είναι οι τριδιάστατες συντεταγμένες των κορυφών του κάθε τριγώνου στο σύστημα αναφοράς του χώρου και τα στοιχεία εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων. Με την εφαρμογή των στοιχείων αυτών στις εξισώσεις συγγραμμικότητας, υπολογίζονται οι εικονοσυντεταγμένες των κορυφών του κάθε τριγώνου στις εικόνες και συνεπώς καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός των εικόνων στις οποίες είναι ορατή η κάθε τριγωνική (ή πολυγωνική) επιφάνεια του μοντέλου.
- ii. Επόμενο στάδιο για κάθε τριγωνική (ή πολυγωνική) επιφάνεια του μοντέλου, αποτελεί η εύρεση μιας εικόνας που απεικονίζει την επιφάνεια αυτή με βέλτιστο τρόπο συγκριτικά με τις υπόλοιπες, βάσει ορισμένων κριτηρίων. Μερικά από τα κριτήρια είναι η αποφυγή αποκρύψεων των εικονοστοιχείων της επιφάνειας στην εικόνα στην οποία προβάλλεται, η ανάλυση των εικονοστοιχείων της επιφάνειας να είναι όσο το δυνατόν υψηλότερη, η γωνία θέασης να είναι ιδανικά κάθετη ή όσο το δυνατόν μικρότερη γίνεται (δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην διεύθυνσης θέασης της επιφάνειας και του κάθετου διανύσματος της επιφάνειας) και η απόδοση υφής σε γειτονικές επιφάνειες από εικονοψηφίδες με συνάφεια μεταξύ τους (δηλαδή να εμφανίζουν κοντινούς χρωματικούς τόνους, μικρές αντιθέσεις και διαφορές φωτισμού, κτλ.).

Με το πέρας των δύο αυτών βημάτων, προκύπτουν οι εικονοσυντεταγμένες των κορυφών της κάθε τριγωνικής (ή πολυγωνικής) επιφάνειας από τις οποίες απαρτίζεται το τριδιάστατο μοντέλο, στην εικόνα που απεικονίζεται κάθε φορά καλύτερα.

- iii. Έπειτα, "τοποθετώντας" τα επιμέρους τμήματα που έχουν ληφθεί από τις βέλτιστες εικόνες για κάθε τριγωνική (ή πολυγωνική) επιφάνεια του μοντέλου πάνω σε μια δισδιάστατη επιφάνεια συγκεκριμένων διαστάσεων, δημιουργείται ο χάρτης υφής (συχνά αναφέρεται και ως άτλας–texture atlas). Η ανάλυση του χάρτη υφής (σε εικονοστοιχεία - pixels) ορίζεται από τον χρήστη αναλόγως το επιθυμητό αποτέλεσμα και τις δυνατότητες που διαθέτει ο υπολογιστής του. Οι εικονοσυντεταγμένες όλων των κορυφών των επιφανειών, προβάλλονται πλέον με τις κατάλληλες μετατροπές από το τριδιάστατο σύστημα αναφοράς του μοντέλου με άξονες (X, Y, Z) στο δισδιάστατο σύστημα αναφοράς του χάρτη υφής με άξονες (U, V).

- iv. Τέλος, ο χάρτης υφής αυτός προβάλλεται πάνω στο τριδιάστατο μοντέλο σύμφωνα με τις συντεταγμένες υφής της κάθε επιφάνειας στον δισδιάστατο χάρτη και μπορεί να αποδοθεί πιστά η πληροφορία της υφής στο τριδιάστατο μοντέλο (mesh) (σχήμα 2.7) [13] [43].



Σχήμα 2.8. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας απόδοσης υφής σε τριδιάστατο ψηφιακό μοντέλο [13].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ (3D) ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΓΛΥΠΤΟΥ «ΔΡΟΜΕΑΣ»

Ένα τέτοιο έργο είναι αρκετά σύνθετο λόγω του μεγάλου ύψους και της πολυπλοκότητας του γλυπτού. Συνεπώς δεν είναι δυνατό να καλυφθούν όλες οι απαραίτητες διεργασίες από ένα άτομο στον περιορισμένο χρόνο μιας διπλωματικής εργασίας. Για το λόγο αυτό η παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται και αποτελεί συνέχεια προηγούμενων εργασιών μιας ομάδας Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Ε.Μ.Π που είχαν ασχοληθεί με τη συλλογή των μετρήσεων στο πεδίο και τη δημιουργία του πρωταρχικού νέφους σημείων. Έτσι, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην αξιοποίηση των μετρήσεων αυτών για τη δημιουργία των ψηφιακών μοντέλων για το γλυπτό και για τη δημιουργία μιας Βάσης Δεδομένων. Τα αποτελέσματα αυτά παραδόθηκαν επίσης σε μια ομάδα Μηχανολόγων Μηχανικών και Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με ειδικές μετρήσεις που συνέλλεξαν οι ίδιοι με σκοπό την πραγματοποίηση θερμικών προσομοιώσεων και άλλων διεργασιών.

Σκοπό του παρόντος κεφαλαίου αποτελεί η παρουσίαση της συλλογής των δεδομένων στο πεδίο, της μετέπειτα επεξεργασίας τους στις εργασίες γραφείου και η αναλυτική διαδικασία της παραγωγής του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού του Δρομέα, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τρία διαφορετικά λογισμικά επεξεργασίας.

3.1. Συλλογή δεδομένων – Εργασίες πεδίου

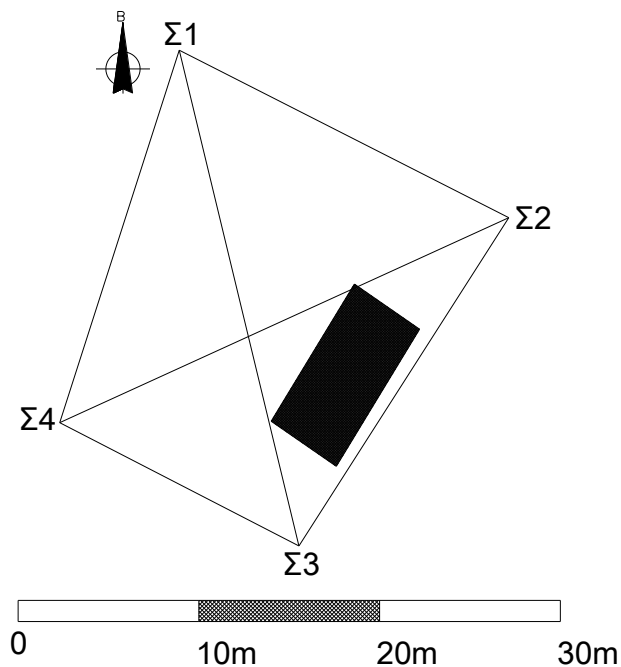
Σε πρώτο στάδιο, για την παραγωγή του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού "Δρομέας", πραγματοποιήθηκαν εργασίες πεδίου με σκοπό τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων.

Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων ξεκίνησε με την ίδρυση ενός τριδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου. Με βάση το μέγεθος του γλυπτού και τη θέση στην οποία ήταν τοποθετημένο, αποφασίστηκε να σημειωθούν 4 κορυφές για το δίκτυο από τις οποίες θα πρέπει να είναι ορατές όλες οι πλευρές του γλυπτού και όσο το δυνατόν περισσότερες από τις γυάλινες

επιφάνειες από τις οποίες απαρτίζεται (σχήμα 3.1). Οι κορυφές σημάνθηκαν με την τοποθέτηση μεταλλικών καρφιών στο έδαφος και με την αναγραφή της ονομασίας τους με ειδικό spray.



Εικόνα 3.1. Απεικόνιση στάσης Σ1 (αριστερά) και στάσης Σ2 (δεξιά) στο πεδίο (σημειώνεται πως οι φωτογραφίες πάρθηκαν αρκετό καιρό μετά την ολοκλήρωση της συλλογής δεδομένων στο πεδίο, γι' αυτό και δεν αναγράφονται εμφανώς οι ονομασίες) [*προσωπικό αρχείο*].



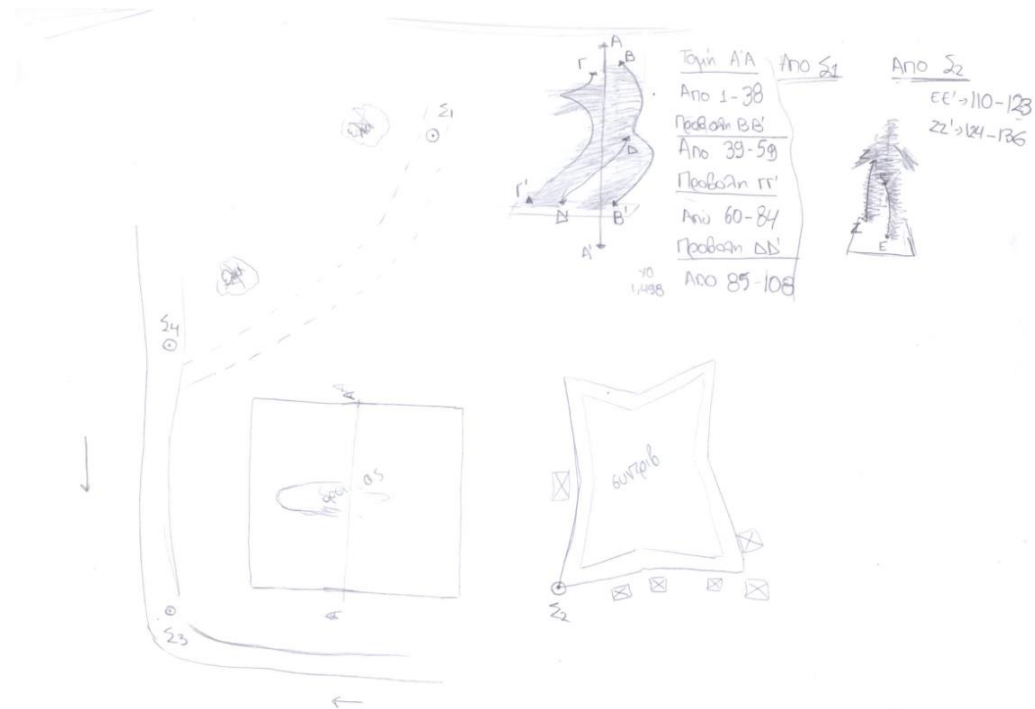
Σχήμα 3.1. Η μορφή του γεωδαιτικού δικτύου σε περιβάλλον AutoCAD, (η γραμμοσκιασμένη περιοχή αντιπροσωπεύει την θέση του γλυπτού).

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν από τις κορυφές αυτές μετρήσεις γωνιών (κατακόρυφων και οριζόντιων) και μηκών του τριδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου. Για τις μετρήσεις αυτές, χρησιμοποιήθηκε ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1201+ (εικόνα 3.2). Ο συγκεκριμένος γεωδαιτικός σταθμός, αποτελεί μέρος της σειράς total station TPS1200+ της εταιρείας Leica. Το βάρος του, συμπεριλαμβανομένης και της μπαταρίας του, είναι 5.6kg. Διαθέτει, μεταξύ άλλων τεχνικών χαρακτηριστικών, τη δυνατότητα μέτρησης μηκών με ή χωρίς την χρήση ανακλαστήρα (IR mode ή RL mode) και τη δυνατότητα ορατής ή όχι εκπομπής της δέσμης του laser. Ο γεωδαιτικός σταθμός έχει ακρίβεια μέτρησης γωνιών ίση με $\pm 3''$ και απόδοση ίση με $0.3''$. Για μετρήσεις IR mode, το βεληνεκές των μετρήσεων φτάνει υπό κανονικές συνθήκες έως τα 2500m με ακρίβεια $\pm 1\text{mm} \pm 1.5\text{ppm}$. Αντίστοιχα, για μετρήσεις σε RL mode, στην Kodak White Card το βεληνεκές κυμαίνεται από 1200m έως 1300m ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού, ορατότητας, αντανάκλασεων και θερμότητας, ενώ για το ίδιο mode στην Kodak Grey Card το βεληνεκές μπορεί να φτάσει από 550m έως 600m, αναλόγως και πάλι στις ίδιες συνθήκες. Η ακρίβεια μετρήσεων των μηκών που μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ανακλαστήρα είναι $\pm 1\text{mm} \pm 1.5\text{ppm}$ ενώ χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα είναι $\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ [9][19].



Εικόνα 3.2. Ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1201+ [9].

Εκτός από τις μετρήσεις των γωνιών και των μηκών που πραγματοποιήθηκαν από και προς τις στάσεις Σ1-Σ2-Σ3-Σ4 του τριδιάστατου δικτύου, με τη δυνατότητα RL mode λήφθηκαν πάνω στο γλυπτό τυχαία σημεία (σχήμα 3.2), με σκοπό τη χρήση τους μετέπειτα ως φωτοσταθερά σημεία για τη γεωαναφορά του γλυπτού αλλά και στην παραγωγή τομών.



Σχήμα 3.2. Κροκί με την υπόδειξη της σχετικής θέσης των στάσεων της όδευσης (Σ1 έως Σ4) και των τυχαίων σημείων πάνω στο γλυπτό.

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων του δικτύου, ακολούθησε η σάρωση του γλυπτού. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενός πολυγεωδαιτικού σταθμού Trimble SX10 (εικόνα 3.1). Πρόκειται για έναν σύγχρονο ρομποτικό γεωδαιτικό σταθμό ο οποίος συνδυάζει την τοπογραφία, τις εικόνες και την 3D σάρωση, αφού έχει ενσωματωμένα χαρακτηριστικά ενός ταχύτατου laser scanner. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπει τόσο τη δυνατότητα τοπογραφικών μετρήσεων όσο και την δυνατότητα σάρωσης με υψηλή ακρίβεια και την παραγωγή πυκνού νέφους σημείων (dense point cloud). Η χρήση σύγχρονων και βελτιωμένων τεχνολογιών, όπως είναι το Trimble VISION technology και το Target Illumination Light (TIL), επιτρέπουν στον πολυγεωδαιτικό σταθμό την γρήγορη και εύκολη καταγραφή εικόνων υψηλής ανάλυσης καθώς και την ταχύτερη αναγνώριση στόχων σε περιβάλλοντα με απαιτητικό φωτισμό. Το βάρος του οργάνου είναι 7.5kg ενώ

συμπεριλαμβανομένης της μπαταρίας του και του τρίποδα, το συνολικό βάρος του συστήματος ανέρχεται στα 8.55kg. Σε ότι αφορά τις τοπογραφικές του ιδιότητες, η ακρίβεια μέτρησης των γωνιών φτάνει το 1". Η ακρίβεια των μηκών σε Standard mode κυμαίνεται στο $\pm 1\text{mm} \pm 1.5\text{ppm}$ με την χρήση ενός πρίσματος ως στόχο (Prism mode) και 1.6sec χρόνο μέτρησης, ενώ κυμαίνεται στα $\pm 2\text{mm} \pm 1.5\text{ppm}$ για την λειτουργία άμεσης ανάκλασης (DR mode) και 1.2 sec χρόνο μέτρησης. Σε ότι αφορά τις ιδιότητες σάρωσης (scanning performance), λειτουργεί με την αρχή εύρους Ultra-high speed time-of-flight με Field-of-view $360^\circ \times 300^\circ$. Στη Kodak Grey Card το εύρος μετρήσεων των μηκών που μπορεί να σαρώσει φτάνει από 0.9m έως 600m και στη Kodak Gray Card το εύρος αυτό κυμαίνεται από 0.9m έως 350m. Τέλος, η βέλτιστη γωνιακή ακρίβεια σάρωσης που μπορεί να πετύχει είναι τα 5" ενώ η ακρίβεια της 3D θέσης των σημείων είναι τα 2.5mm [65][66].



Εικόνα 3.3. Πολυγωνοδαιτικός σταθμός Trimble SX10 [66].

Λόγω του μεγάλου μεγέθους του γλυπτού και της ιδιαίτερης υφής του υλικού του (γυαλί), κρίθηκε απαραίτητη και η λήψη φωτογραφιών με την χρήση ενός Συστήματος μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (ΣμηΕΑ ή UAS), με σκοπό την συμπλήρωση του πυκνού νέφους σημείων που πάρθηκαν από το Trimble SX10. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε το μη Επανδρωμένο Εναέριο Όχημα UAV DJI Phantom 4 RTK (εικόνα 3.2) για τη λήψη των εναέριων φωτογραφιών. Πρόκειται για ένα Drone επαγγελματικής χρήσης ειδικά εξοπλισμένο για χαρτογραφήσεις υψηλής ακρίβειας. Η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί είναι της τάξης του $\pm 1\text{cm} \pm 1\text{ppm}$ RTK σε οριζοντιογραφικές μετρήσεις και $\pm 1.5\text{cm} \pm 1\text{ppm}$ RTK στις υψομετρικές. Το συγκεκριμένο Drone διαθέτει αισθητήρες εμποδίων 5 κατευθύνσεων, ενσωματωμένη οθόνη 5.5 ιντσών 1080p έχει

εμβέλεια χειριστηρίου τα 7000m, πραγματοποιεί πτήση με την βοήθεια GPS [19]. Συνολικά, έγινε λήψη 628 φωτογραφιών με επικάλυψη άνω του 80% μεταξύ τους.



Εικόνα 3.4. UAV DJI Phantom 4 RTK [67].

3.2. Εργασίες γραφείου

Ύστερα από τη συλλογή των παραπάνω δεδομένων στο πεδίο, ακολούθησε η επεξεργασία τους με τη χρήση των κατάλληλων λογισμικών.

Αρχικά, έγινε η συνόρθωση του δικτύου από την οποία προέκυψαν οι τριδιάστατες συντεταγμένες (x, y, z) και τα σφάλματα όλων των κορυφών σε αυθαίρετο σύστημα αναφοράς (πίνακας 3.1).

Σημείο	x (m)	σx(mm)	y (m)	σy(mm)	z (m)	σz(mm)
Σ1	100	±0.4	100	±0.5	10.000	±0.7
Σ2	118.231		90.711		10.828	
Σ3	106.623		72.501		9.243	
Σ4	93.388		79.343		9.264	

Πίνακας 3.1. Συντεταγμένες και σφάλματα κορυφών του 3D δικτύου.

Με τη χρήση των συντεταγμένων αυτών και με τους απαραίτητους υπολογισμούς, υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες των τυχαίων σημείων που λήφθηκαν πάνω στο γλυπτό από τις διάφορες στάσεις. Οι τριδιάστατες συντεταγμένες των σημείων αυτών, παρουσιάζονται στο παράρτημα μετρήσεων στις τελευταίες σελίδες της παρούσας Διπλωματικής εργασίας (σελίδα 136).

Η επεξεργασία του πυκνού νέφους σημείων που προήλθε από τον πολυγεωδαιτικό σταθμό Trimble SX10, πραγματοποιήθηκε με την εισαγωγή του στο λογισμικό Trimble Business Center.

Για την ενίσχυση του πυκνού νέφους σημείων του πολυγεωδαιτικού σταθμού, οι φωτογραφίες που ελήφθησαν από το Drone, εισήχθησαν στο λογισμικό Agisoft Metashape Professional έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία τους. Το λογισμικό αυτό, εφαρμόζει πολυεικονική μέθοδο για να πραγματοποιήσει την συνταύτιση όλων των φωτογραφιών από το Drone. Για τον λόγο αυτό, το γεγονός ότι οι φωτογραφίες είχαν 80% επικάλυψη μεταξύ τους, διευκόλυνε τη διαδικασία της εύρεσης των κοινών χαρακτηριστικών σε αυτές, έτσι ώστε με τη διαδικασία του "Align" να μπορέσει να γίνει η ορθή ευθυγράμμιση όλων των φωτογραφιών. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της συνταύτισης, δημιουργήθηκε ένα νέο πυκνό νέφος σημείων για το γλυπτό. Το νέφος αυτό, περιείχε και σημεία της κάτοψης του γλυπτού, τα οποία δεν μπορούσαν να ληφθούν από τον πολυγεωδαιτικό σταθμό Trimble SX10 λόγω του μεγάλου μεγέθους του. Επιπλέον, εισήχθησαν στο λογισμικό τα ταχυμετρικά (φωτοσταθερά) σημεία των οποίων οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του γεωδαιτικού σταθμού TCRM 1201+, με σκοπό το ψηφιακό μοντέλο να αποκτήσει τις σωστές διαστάσεις στον χώρο.

Τέλος, στο λογισμικό Agisoft Metashape, έγινε εισαγωγή και του νέφους σημείων που προέκυψε από το Laser Scanner Trimble SX10 και συνενώθηκε με το νέφος σημείων που προέκυψε από την λήψη των φωτογραφιών με το Drone UAV DJI Phantom 4 RTK. Έτσι έγινε η παραγωγή του τελικού πυκνού νέφους σημείων για το γλυπτό του Δρομέα με σκοπό τη χρήση του στη μετέπειτα παραγωγή του τριδιάστατου μοντέλου του και στην δημιουργία τομών. Το νέφος αυτό αποτελούταν συνολικά από 17.270.578 σημεία.

3.3. Διαδικασία παραγωγής τριδιάστατου 3D μοντέλου

Σύμφωνα με τη θεωρία που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2 σχετικά με τους ποικίλους τρόπους παραγωγής τριδιάστατων (3D) μοντέλων, αποφασίστηκε η δοκιμαστική χρήση των παρακάτω λογισμικών για την ανακατασκευή του. Στο παρόν υποκεφάλαιο, αναλύονται οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν στο εκάστοτε λογισμικό καθώς και συμπεράσματα για το κάθε αποτέλεσμα που προέκυψε από αυτά. Σημειώνεται πως για όλες τις επεξεργασίες στα παρακάτω λογισμικά, χρησιμοποιήθηκε φορητός υπολογιστής Dell με επεξεργαστή 11th Gen Intel(R) Core(TM)

i5-1135G7 @ 2.42 GHz, RAM 8,00 GB, Operating system: Windows 11 Home και System type: 64-bit operating system, x64-based processor.

3.3.1. Trimble Business Center

Η διαδικασία παραγωγής του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού του Δρομέα, πραγματοποιήθηκε αρχικά στο λογισμικό Trimble Business Center (TBC) έκδοσης v5.20, της εταιρείας Trimble. Το συγκεκριμένο σύγχρονο λογισμικό γραφείου, αποτελεί ένα πλήρες πακέτο μετεπεξεργασίας δεδομένων [72]. Είναι ιδανικό για την επεξεργασία, ανάλυση, επίλυση και συνόρθωση δεδομένων που προέρχονται από τοπογραφικά όργανα (total station, laser scanner, ψηφιακούς χωροβάτες, GNSS δεδομένων, κτλ.) κατά τις μετρήσεις στο πεδίο, καθώς επίσης και για την παραγωγή σχεδιαστικών πακέτων (CAD). Είναι ικανό για την εύκολη εισαγωγή των δεδομένων του πεδίου σε αυτό και για την διασφάλιση της υψηλής τους ακρίβειας [72][73]. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις ανάγκης πολύ καλής και υψηλής ανάλυσης των δεδομένων και ειδικότερα στην περίπτωση προσοχής των λεπτομερειών στις τριδιάστατες επιφάνειες των αντικειμένων. Εκτός από τους παραπάνω λόγους, αποφασίστηκε η δοκιμή επεξεργασίας του νέφους σημείων στο παρόν λογισμικό διότι το πρωταρχικό νέφος σημείων που προήλθε μετά το πέρας των διεργασιών που αναφέρθηκαν στο υπο-κεφάλαιο 3.2 βρισκόταν σε μορφή αρχείου .e57, η οποία είναι συμβατή με το λογισμικό TBC.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή του νέφους σημείων από το σαρωτή στο λογισμικό TBC. Όπως προαναφέρθηκε το νέφος αυτό αποτελούταν συνολικά από 17.270.578 σημεία. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν για το λογισμικό, κατέστησαν δυνατή τη λεπτομερή διαγραφή του περιττού θορύβου του νέφους, δηλαδή των σημείων αυτών που δεν σχετίζονται με το γλυπτό όπως δέντρα, κτήρια, ουρανός, κτλ., που όμως αποδόθηκαν λανθασμένα με τη μορφή σημείων. Από την παραπάνω διαδικασία, προέκυψε το νέφος σημείων που απεικονίζει μόνο τις γυάλινες πλάκες που απαρτίζουν το γλυπτό και τη βάση του, χωρίς το εξωτερικό του πλαίσιο από σκυρόδεμα και τυχόν άλλου είδους θόρυβο.

Έπειτα, μετά από πολυάριθμες δοκιμαστικές προσπάθειες δημιουργίας τριδιάστατης ψηφιακής επιφάνειας από τα διαθέσιμα σημεία, προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

- Τα εργαλεία και οι εντολές που διαθέτει, το λογισμικό TBC ενδείκνυνται κυρίως για τη δημιουργία τριδιάστατων επίπεδων

επιφανειών (mesh), χωρίς πολλές ακμές και πολύπλοκες γεωμετρίες. Έτσι, στην περίπτωση χρήσης του συγκεκριμένου λογισμικού για τη δημιουργία του τριδιάστατου ψηφιακού μοντέλου του Δρομέα, θα έπρεπε η κάθε γυάλινη πλάκα να αντιμετωπίζονταν σαν μεμονωμένο αντικείμενο, να δημιουργούνται η mesh επιφάνεια και στη συνέχεια να ενώνονταν όλες μαζί. Η συγκεκριμένη πρόταση, εκτός από το ότι επρόκειτο για μια πάρα πολύ χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία, δεν θα εξασφάλιζε την επιτυχή αποτύπωση του γλυπτού διότι εμπλέκονται ζητήματα αναφορικά με το πάχος των πλακών και τη μεταξύ τους σύνδεση (όπως για παράδειγμα οι πλάκες δεν θα εφάπτονταν μεταξύ τους αλλά θα τοποθετούνταν στοιβαγμένες αιωρούμενες χωρίς κάποια ουσιαστική υποστήριξη ή με τη χρήση κάθετων γραμμών για να υποδείξουν τη σύνδεσή τους).

- ο Η γεωμετρία της κάθε πλάκας δεν ήταν δεδομένο ότι θα αποδιδόταν ορθά διότι λόγω της ιδιότητας του λογισμικού για επεξεργασία των δεδομένων με υψηλή ακρίβεια, εκλάμβανε υπόψη όλα τα σημεία που βρίσκονταν στον εκάστοτε ορισμένο χώρο για την κάθε πλάκα. Αυτό, δημιουργούσε ανομοιόμορφες γεωμετρίες στις επιφάνειες των πλακών που θα έπρεπε να είναι ως επί το πλείστον λείες, διότι εξ αιτίας της πολύ υψηλής ανακλαστικής ιδιότητας του γυαλιού και της σκόνης που υπήρχε στην επιφάνεια των γυάλινων πλακών, η δέσμη του laser scanner πολλές φορές αποπροσανατολιζόταν και δημιουργούσε σημεία στο νέφος ενώ δεν θα έπρεπε να υπάρχουν (τα οποία όμως είναι σε αρκετά κοντινή απόσταση με τα κανονικά για να θεωρηθούν θόρυβος και να απομακρυνθούν με χειροκίνητες διαδικασίες).

Για τους παραπάνω πολύ σημαντικούς λόγους, το λογισμικό TBC απορρίφθηκε για την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων του laser scanner και για την ανακατασκευή του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού.

Στο τέλος, το επεξεργασμένο και καθαρισμένο από τους περιττούς θορύβους τριδιάστατο νέφος σημείων για το γλυπτό αποθηκεύτηκε σε μορφή αρχείου .laz έτσι ώστε να είναι συμβατό σε μεγαλύτερο αριθμό τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών λογισμικών απ' ότι η μορφή .e57.

Μετά τη χειροκίνητη επεξεργασία και απομάκρυνση του περιττού θορύβου, το νέφος σημείων αποτελούταν συνολικά από 10.790.763 σημεία στο λογισμικό του TBC.

3.3.2. Geomagic Wrap

Το Geomagic Wrap είναι ένα λογισμικό της εταιρείας 3D Systems το οποίο επεξεργάζεται και μετατρέπει δεδομένα που προέρχονται από συσκευές σαρώσεων σε τριδιάστατα πολυγωνικά μοντέλα ή μοντέλα επιφανειών. Βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς όπου είναι απαραίτητη η ακριβής και λεπτομερής αναπαράσταση τριδιάστατων αντικειμένων. Μερικά παραδείγματα αποτελούν ο τομέας της αρχαιολογίας, της ιατρικής, της τέχνης και της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς, της σχεδίασης προϊόντων και της γεωχωρικής και τοπογραφικής επιστήμης.

Η επιλογή του συγκεκριμένου λογισμικού για την τριδιάστατη ανακατασκευή του μοντέλου του Δρομέα προέκυψε από τη διαθεσιμότητα των πρωτογενών δεδομένων. Όπως αναλύθηκε στο υποκεφάλαιο 3.1, το γλυπτό σαρώθηκε με τη χρήση του πολυγεωδαιτικού σταθμού Trimble SX10 και το νέφος σημείων αυτό ενισχύθηκε από νέφος σημείων που προήλθε από φωτογραφίες που ελήφθησαν μέσω του μη Επανδρωμένου Αέριου Οχήματος UAV DJI Phantom 4 RTK. Μετά την εξαγωγή του συμπεράσματος ότι το λογισμικό Trimble Business Center (TBC) είναι ακατάλληλο για την 3D ανακατασκευή του συγκεκριμένου γλυπτού, αποφασίστηκε η χρήση του λογισμικού Geomagic Wrap για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού, το οποίο λογισμικό ενδείκνυται για φωτογραμμετρικούς σκοπούς αντίστοιχης φύσεως. Προηγήθηκε η εισαγωγή του νέφους σημείων με μορφή αρχείου .laz στο λογισμικό Metashape (Pro) της εταιρείας Agisoft για τη μετατροπή του σε τύπο .ply λόγω του ότι το λογισμικό Geomagic Wrap δεν υποστήριζε την προηγούμενη μορφή. Καθ' αυτή τη διαδικασία, το πλήθος σημείων μειώθηκε από τα 10.790.763 στα 10.199.058 σημεία. Αυτό εκτιμάται πως συνέβη διότι η μορφή αρχείου .ply είναι πιο ελαφριά συγκριτικά με τη .laz και συνεπώς το λογισμικό εφάρμοσε αυτόματες διαδικασίες μείωσης του όγκου του νέφους με απώτερο σκοπό τη μείωση του όγκου του αρχείου.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ανακατασκευή του 3D μοντέλου του γλυπτού του Δρομέα από το νέφος σημείων που προήλθε από την σάρωση του γλυπτού και τη χρήση του λογισμικού Geomagic Wrap, περιγράφονται στις παρακάτω υπο-ενότητες.

i. Διαδικασία καθαρισμού θορύβου

Κατά τη διάρκεια της σάρωσης ενός αντικειμένου (ειδικά σε εξωτερικούς χώρους), σαρώνεται μαζί του και περιττή πληροφορία. Η πληροφορία αυτή ονομάζεται θόρυβος για το αντικείμενο ενδιαφέροντος και πρέπει να απομακρυνθεί από το νέφος σημείων διότι μπορεί να δημιουργεί

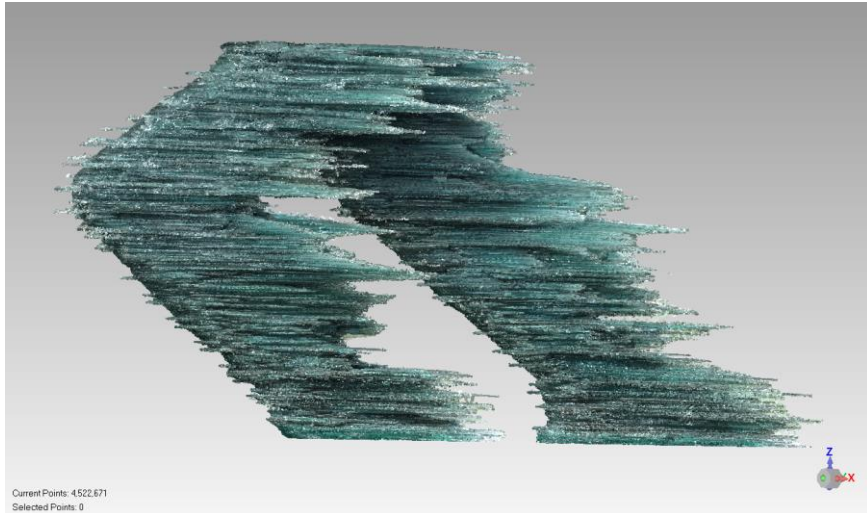
παρεμβολές στις μετέπειτα διεργασίες σε ότι αφορά την γεωμετρία αλλά και το μέγεθος του αντικειμένου. Κύριες πηγές θορύβου για το συγκεκριμένο πυκνό νέφος σημείων του Δρομέα, αποτελούν τα εξής:

- ✓ Αντικείμενα περιμετρικά του γλυπτού, όπως κτήρια, δέντρα, δρόμος, περαστικοί, ουρανός, εμπόδια που παρεμβάλλονται στιγμιαία στην ακτίνα του laser scanner κ.α.
- ✓ Οι αποστάσεις ανάμεσα στις λεπτές γυάλινες πλάκες από τις οποίες απαρτίζεται το γλυπτό.

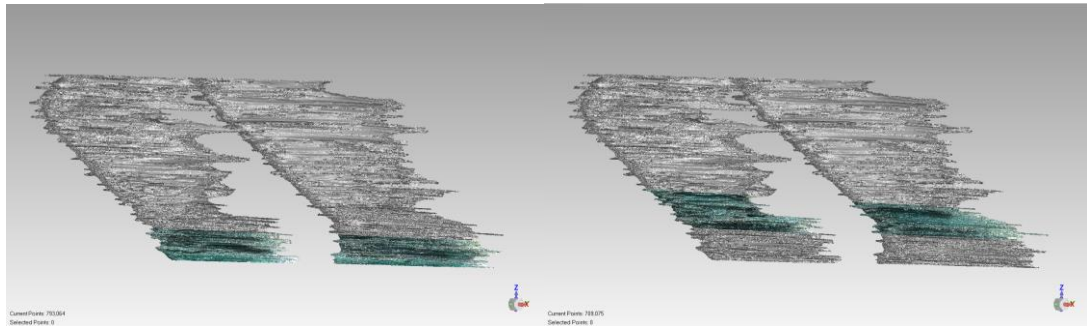
Αρχικά, έγινε η δημιουργία ενός νέου κενού Project στο λογισμικό Geomagic Wrap 2017 και πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή του τελικού πυκνού νέφους σημείων μορφής .ply σε αυτό. Οι αρχικές μονάδες μέτρησης του Project για την οπτικοποίηση των δεδομένων ορίστηκαν να είναι mm. Το αρχικό πυκνό νέφος σημείων, μετά από τον καθαρισμό θορύβου που υπέστη στο λογισμικό TBC κατά την συνένωση των νεφών, και το οποίο πλέον απεικόνιζε μόνο το γλυπτό και την βάση του, αποτελείτο από 10.199.058 σημεία.

Εξαιτίας του πολύ μεγάλου μεγέθους του γλυπτού και των δεδομένων επεξεργασίας, κρίθηκε αναγκαίος ο διαχωρισμός του σε τμήματα προκειμένου να διεξαχθεί η ορθή επεξεργασία του και ανακατασκευή του τριδιάστατου μοντέλου, χωρίς την επιβάρυνση του λογισμικού. Ένας επιπλέον λόγος διαχωρισμού του γλυπτού σε τμήματα αποτελεί το γεγονός ότι σε πολλές περιοχές του όπου οι πλάκες είναι σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, ο σαρωτής έχει εντοπίσει και έχει σαρώσει σημεία τα οποία είναι περιττά καθώς αντιπροσωπεύουν την πληροφορία ανάμεσά τους, όπως κτήρια, τον ουρανό, δέντρα κ.τ.λ. Δηλαδή, στην περίπτωση ανακατασκευής του τριδιάστατου γλυπτού πριν διαχωριστεί σε τμήματα και καθαριστεί λεπτομερώς από τον περιττό θόρυβο, το λογισμικό θα συνένωνε όλα τα κοντινά σημεία μεταξύ τους σε μια ενιαία επιφάνεια, η οποία θα απέδιδε λανθασμένα τη γεωμετρία του γλυπτού. Τέλος, ένας ακόμη λόγος διαχωρισμού του γλυπτού σε τμήματα αποτελεί η καλύτερη διαχείρισή του στο Geomagic, καθώς ο όγκος του αρχείου λόγω των πάρα πολλών σημείων σάρωσης δεν του επιτρέπει να εκτελεί στις ζητούμενες διαδικασίες με ικανοποιητική ταχύτητα ταυτόχρονα για όλα τα σημεία.

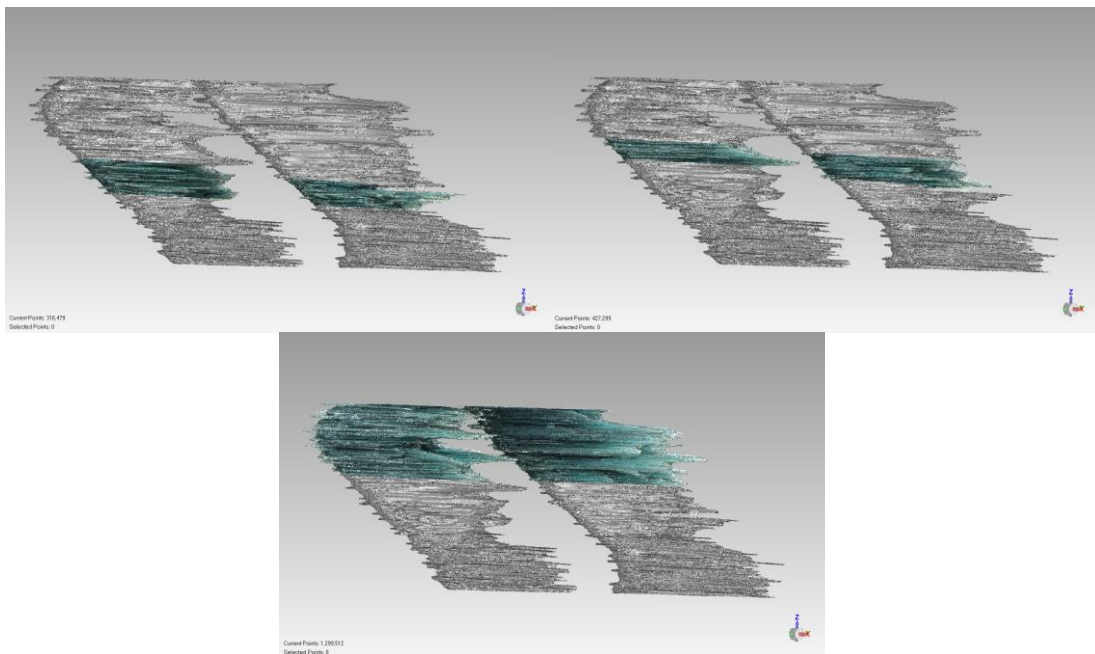
Το γλυπτό χωρίστηκε σε τέσσερα βασικά τμήματα (New Objects): τη βάση, τα πόδια, τον κορμό και το κεφάλι. Τα πόδια στη συνέχεια χωρίστηκαν σε 6 υπο-τμήματα, ο κορμός σε τρία και το κεφάλι σε δύο. Δηλαδή συνολικά, το πυκνό νέφος σημείων κατατμήθηκε σε τέσσερα τμήματα και στη συνέχεια σε 12 υπο-τμήματα, των οποίων η επεξεργασία έγινε τόσο χειροκίνητα όσο και με αυτόματες διαδικασίες και μετά το πέρας τους, συνενώθηκαν (με την εντολή "Combine") και προέκυψε το τελικό τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού.



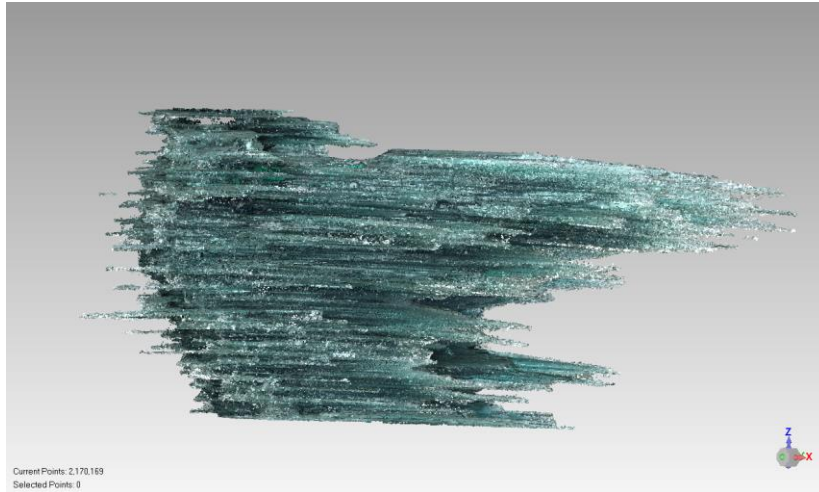
Σχήμα 3.3. Νέφος σημείων για το τμήμα των ποδιών του γλυπτού στο περιβάλλον του Geomagic Wrap.



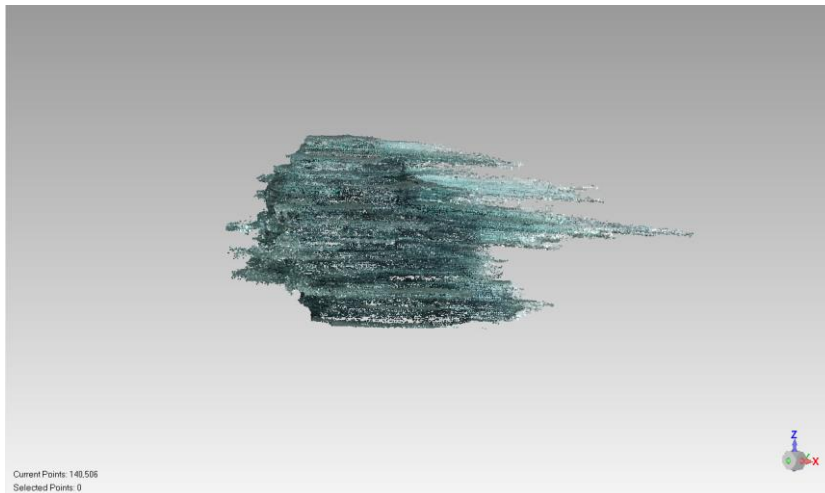
Σχήμα 3.4. Διαχωρισμός του παραπάνω νέφους στα υπό-τμήματα «πόδια 1» και «πόδια 2».



Σχήμα 3.5. Διαχωρισμός του παραπάνω νέφους στα υπό-τμήματα «πόδια 3», «πόδια 4» και «πόδια 5».



Σχήμα 3.6. Νέφος σημείων για το τμήμα του κορμού του γλυπτού στο περιβάλλον του Geomagic Wrap.



Σχήμα 3.7. Νέφος σημείων για το τμήμα του κεφαλιού του γλυπτού στο περιβάλλον του Geomagic Wrap.



Σχήμα 3.8. Νέφος σημείων για το τμήμα της βάσης του γλυπτού στο περιβάλλον του λογισμικού Geomagic Wrap.

Σε όλα τα παραπάνω υπό-τμήματα, προηγήθηκε η εφαρμογή μιας σειράς αλγορίθμων με σκοπό τον πιο λεπτομερή καθαρισμό του νέφους σημείων από επιπλέον θόρυβο, προτού πραγματοποιηθεί η τριδιάστατη ανακατασκευή καθενός από αυτά. Οι ενέργειες καθαρισμού των νεφών σημείων είναι οι εξής:

- ✓ Reduce noise (Parameters: Free form shapes, Iterations → 1, Deviation Limit → 0.3 mm): η συγκεκριμένη εντολή μετακινεί όσα σημεία εντοπίσει να αποκλίνουν (βάσει ορισμένων παραμέτρων) στις στατιστικά σωστές θέσεις τους, δημιουργώντας έτσι ένα πιο ομοιόμορφο αποτέλεσμα και μια πιο ομαλή διάταξη. Η παράμετρος "Free form shapes" αναφέρεται στον αλγόριθμο χρήσης της εντολής και επιλέχθηκε διότι αφορά αντικείμενα ελεύθερης μορφής και επικεντρώνεται στο ανάγλυφο τους. Οι δύο άλλοι εναλλακτικοί αλγόριθμοι επιλογής ήταν ο "Prismatic shapes (conservative)", ο οποίος προσπαθεί να εφαρμόσει γεωμετρικές επιφάνειες στο αντικείμενο διατηρώντας παράλληλα τα έντονα χαρακτηριστικά του και ο "Prismatic shapes (aggressive)" ο οποίος έχει τις ίδιες λειτουργίες με τον προηγούμενό του με την διαφορά πως απομακρύνει μεγαλύτερο όγκο θορύβου. Οι παράμετροι Smoothness Level, Iterations και Deviation Limit αφορούσαν τον βαθμό μείωσης θορύβου, τον αριθμό επαναλήψεων και το όριο απόστασης μέχρι την οποία είναι επιτρεπτό να μετακινηθεί ένα σημείο αντίστοιχα και αφέθηκαν οι προεπιλεγμένες τιμές που υπολόγισε ο αλγόριθμος.
- ✓ Select → Disconnected Components: ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εντοπίζει ομάδες σημείων οι οποίες βρίσκονται σε μια ορισμένη απόσταση σε σχέση με τα υπόλοιπα γύρω τους, τα επιλέγει και στη συνέχεια δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να τα διαγράψει χειροκίνητα αν επιθυμεί.
- ✓ Select → Outliers: ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, εντοπίζει και επιλέγει όλα τα σημεία τα οποία αποτελούν θόρυβο για το νέφος σημείων, σύμφωνα με έναν βαθμό ευαισθησίας. Για τα υπό-τμήματα που επιλέχθηκε να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη ενέργεια, ως βαθμός ευαισθησίας αφέθηκε η προεπιλεγμένη από τον αλγόριθμο τιμή (0.02), η οποία υπολογίζεται αυτόματα. Έπειτα, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να διαγράψει χειροκίνητα (με delete) τα επιλεγμένα τμήματα, αν το επιθυμεί.

ii. Διαδικασία δημιουργίας πολυγωνικής επιφάνειας (Wrap)

Στη συνέχεια, μετά τον καθαρισμό του πυκνού νέφους σημείων, το κάθε υπό-τμήμα των σημείων υποβλήθηκε στη διαδικασία δημιουργίας μιας πολυγωνικής επιφάνειας ("Wrap"). Η επιφάνεια αυτή, αποτελείται από

κορυφές, ακμές και έδρες. Το λογισμικό Geomagic Wrap, δημιουργεί αποκλειστικά έδρες τριγωνικού σχήματος (triangular mesh) και, κατά μέσο όρο, δύο τρίγωνα για κάθε σημείο του πυκνού νέφους. Επομένως, το ιδανικό αποτέλεσμα της κάθε διαδικασίας Wrap για όλα τα τμήματα του γλυπτού θα έπρεπε να αποτελούνται από τριγωνικά, ομοιόμορφα και manifold πλέγματα. Κάτι τέτοιο όμως (με εξαίρεση την περίπτωση μικρών αντικειμένων με πολύ απλή γεωμετρία και χρήση επαρκών μετρήσεων), είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί, τουλάχιστον χωρίς την επέμβαση του χρήστη μετέπειτα με χειροκίνητες ή αυτόματες διαδικασίες. Συνήθως, οι τριγωνικές επιφάνειες που δημιουργούνται από την διαδικασία Wrap αποτελούνται επίσης από ασυνέχειες (οπές) λόγω έλλειψης πρωτογενούς πληροφορίας, ανεστραμμένα τρίγωνα, επικαλυπτόμενα και αναδιπλούμενα τρίγωνα, αιχμηρά τμήματα (spikes), αιωρούμενα τμήματα κ.α., τα οποία στη συνέχεια διορθώνονται με περεταίρω διεργασίες στις τριγωνικές επιφάνειες.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση για το γλυπτό του Δρομέα, η τριδιάστατη ανακατασκευή του κρίθηκε ιδιαιτέρως απαιτητική λόγω:

- ✓ Του μεγάλου μεγέθους του (8 m).
- ✓ Του υλικού του (γυαλί), το οποίο παρεμβαλλόταν στις μετρήσεις. (σχετική θεωρία στο κεφάλαιο 2 για την ανάκλαση του γυαλιού σε μετρήσεις με laser scanner)
- ✓ Της ιδιαίτερης και περίτεχνης γεωμετρίας του, η οποία απαιτούσε μεγάλη λεπτομέρεια στον χειρισμό της.

Για κάθε υπό-τμήμα πυκνού νέφους σημείων του οποίου πραγματοποιήθηκε η δημιουργία τριγωνικής επιφάνειας (Wrap) ισχύουν τα παρακάτω για τις παραμέτρους και τις ρυθμίσεις που χρησιμοποιήθηκαν:

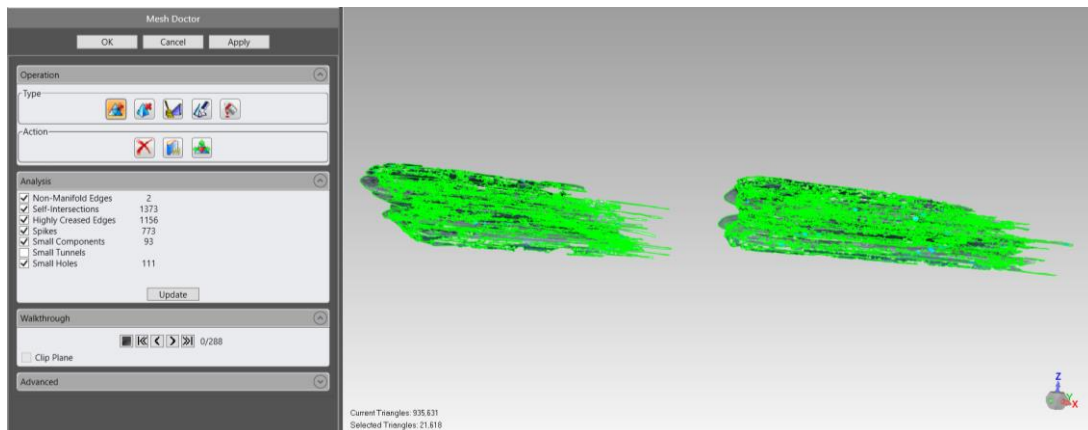
Settings

- ✓ Noise Reduction → Auto
- ✓ Keep Original Data → ενεργοποιημένο: η ρύθμιση αυτή διατηρεί το αρχικό νέφος σημείων
- ✓ Delete Small Components → ενεργοποιημένο: η ρύθμιση αυτή διαγράφει μικρές επιφάνειες οι οποίες εντοπίζει πως δεν συσχετίζονται με το υπόλοιπο τριγωνικό πλέγμα.

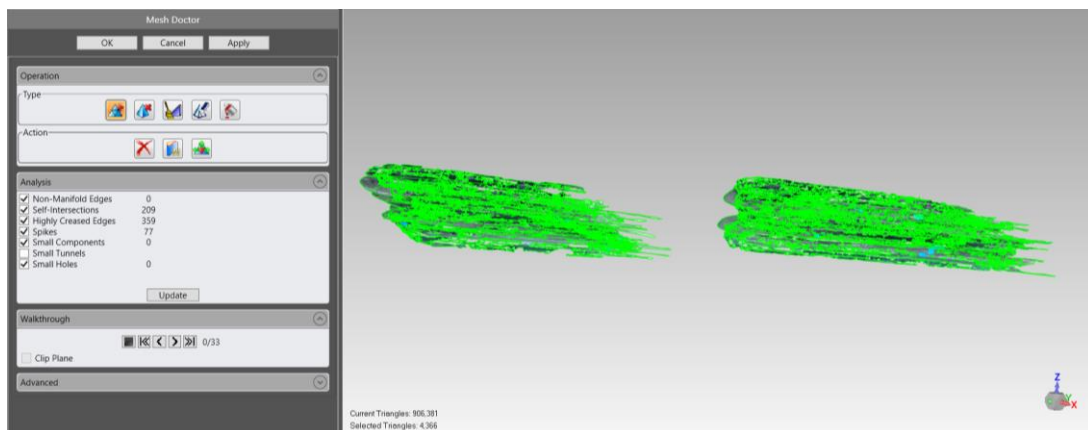
Sampling

- ✓ Max Triangles → 2500000: αφορά τον μέγιστο αριθμό τριγώνων που επιτρέπεται να δημιουργηθούν (αφέθηκε ίδια από τον αυτόματο υπολογισμό του αλγορίθμου).
- ✓ Performance – Quality: η ρύθμιση αυτή δίνει την επιλογή στον χρήστη να επιλέξει ανάμεσα στην καλύτερη ποιότητα ή στην ταχύτητα εκτέλεσης της διαδικασίας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση για όλα τα τμήματα, δόθηκε βάση στην ποιότητα, η οποία ορίστηκε να είναι η μέγιστη.

Τη διαδικασία Wrap για κάθε υπό-τμήμα του γλυπτού, διαδέχεται το εργαλείο "Mesh Doctor". Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για την εύρεση και διόρθωση των ατελειών που δημιουργήθηκαν, όπως ανεστραμμένα τρίγωνα, ασυνέχειες, ασυνήθιστες γεωμετρίες και τρίγωνα με λανθασμένες κλίσεις. Για το συγκεκριμένο γλυπτό, η εντολή "Mesh Doctor" εφαρμόστηκε προτού εφαρμοστούν οι χειροκίνητες επεμβάσεις, προκειμένου τα μεγαλύτερα χονδροειδή λάθη να διορθωθούν αυτόματα ώστε να γίνει εξοικονόμηση χρόνου. Οι τύποι διορθώσεων που εφαρμόστηκαν από τη συγκεκριμένη εντολή είναι τέσσερεις: Auto-Repair (εντοπίζει και διορθώνει όλους τους τύπους διορθώσεων που εντοπίζονται), Remove Spikes (εντοπίζει και εξομαλύνει τις έντονες ακμές), Clean Operation (προσαρμόζει το τριγωνικό πλέγμα-Mesh στο βασικό σετ σημείων), Defeature (διαγράφει τα αναδιπλούμενα ή ανεστραμμένα τρίγωνα στο εσωτερικό του τριγωνικού πλέγματος και συμπληρώνει την περιοχή αυτή με καλύτερα οργανωμένο και ομοιόμορφο πλέγμα). Κάθε μια από αυτές τις διορθώσεις, κατά την εφαρμογή της, εντοπίζει τα παρακάτω σφάλματα για το μοντέλο με ακριβή αριθμό (στο παράθυρο Analysis) και με εντολή του χρήστη τα απαλείφει. Αναλυτικά, τα σφάλματα αυτά αφορούν τον εντοπισμό: Non-Manifold Edges (σχετική θεωρία στο κεφάλαιο 2), Self-Intersections (τρίγωνα που επικαλύπτονται μεταξύ τους), Highly Creased Edges (γειτονικά τρίγωνα που ενώνονται σε απότομες ακμές), Spikes (σετ τριών ή περισσότερων τριγώνων που προεξέχουν από μια εξομαλυμένη επιφάνεια), Small Components (σύνολο ανεξάρτητων τριγώνων αποκομμένα από το υπόλοιπο πλέγμα - θόρυβος), Small Holes (μικρές οπές στην επιφάνεια του πλέγματος).



Σχήμα 3.9. Ενδεικτική απεικόνιση 1^{ου} υπό-τμήματος της κατηγορίας των ποδιών του γλυπτού σε μορφή *triangular mesh*, με τις ρυθμίσεις του εργαλείου *mesh doctor* πριν την εφαρμογή του στο περιβάλλον *Geomagic Wrap*.



Σχήμα 3.10. Ενδεικτική απεικόνιση 1^{ου} υπό-τμήματος της κατηγορίας των ποδιών του γλυπτού σε μορφή *triangular mesh*, με τις ρυθμίσεις του εργαλείου *mesh doctor* μετά την εφαρμογή του στο περιβάλλον *Geomagic Wrap*.

Οι χειροκίνητες διαδικασίες επεξεργασίας των τριγωνικών πλεγμάτων όλων των υπό-τμημάτων, κρίθηκαν αναγκαίες ακόμη και μετά την εφαρμογή του εργαλείου *Mesh Doctor*. Σημειώνεται πως οι χειροκίνητες αυτές διαδικασίες αποτέλεσαν το πιο χρονοβόρο κομμάτι της διαδικασίας παραγωγής του τριδιάστατου μοντέλου, καθώς διήρκεσαν περίπου 2 μήνες για όλα τα τμήματα του μοντέλου ώστε να πραγματοποιηθούν ορθά και με την απαραίτητη λεπτομέρεια. Πραγματοποιήθηκε οπτική παρατήρηση σε μεγέθυνση σε κάθε ένα από τα τμήματα του γλυπτού και ήταν φανερό πως η κατασκευή του σχήματος του γλυπτού είχε αλλοιωθεί σε πάρα πολλές περιοχές του. Συγκεκριμένα, οι έντονες διαφοροποιήσεις σε σχέση με την πραγματικότητα, εντοπίστηκαν στη γεωμετρία των

γυάλινων πλακών και στο σχήμα των λεπτεπίλεπτων ακμών τους, καθώς επίσης και στις πολυάριθμες οπές, θολές επιφάνειες ανάμεσα στις πλάκες και αποκομμένα και ανεστραμμένα τμήματα σε σχέση με το κύριο τριγωνικό πλέγμα (Mesh). Η επεξεργασία όλων των τμημάτων, έγινε χειροκίνητα με τις επιλογές της εντολής "Fill Holes" στην καρτέλα Polygons. Οι δύο επιλογές που παρέχονται από αυτή την εντολή είναι η "Fill All", η οποία συμπληρώνει αυτόματα και μαζικά όλες τις οπές που εντοπίζονται στο πλέγμα με την κατάλληλη καμπυλότητα που κρίνει ο αλγόριθμος και η "Fill Single", η οποία επιτρέπει στο χρήστη να πραγματοποιήσει χειροκίνητη συμπλήρωση των οπών όπου επιθυμεί καθώς επίσης και να επιλέξει την καμπυλότητά τους. Η πρώτη επιλογή ("Fill All") δεν χρησιμοποιήθηκε καθόλου κατά την διαδικασία επεξεργασίας του τριγωνικού πλέγματος του συγκεκριμένου γλυπτού, διότι λόγω της πολυπλοκότητας του σχήματος του Δρομέα, η συμπλήρωση όλων των οπών και των κενών τμημάτων αυτόματα από τον αλγόριθμο θα είχε ως αποτέλεσμα την λανθασμένη απόδοση της γεωμετρίας του γλυπτού. Κατά την χρήση της εντολής "Fill Single" για κάθε κενή επιφάνεια η οποία έπρεπε να συμπληρωθεί, εντοπιζόταν η οπή καθώς και η καμπυλότητα της γειτονικής της επιφάνειας και με την επιλογή συμπλήρωσης ολόκληρης (complete) ή μερικώς (partial) της οπής, πραγματοποιούταν η πλήρωσή της. Οι διαθέσιμες καμπυλότητες του αλγορίθμου ήταν η επίπεδη, η μεσαία και η μεγάλη, ενώ η επιλογή τους γινόταν από τον χρήστη πριν την συμπλήρωση του κενού ανάλογα με την υπόλοιπη επιφάνεια πάνω στην οποία βρισκόταν η κάθε οπή. Επιπλέον, στις χειροκίνητες διεργασίες που εφαρμόστηκαν στο Mesh συμπεριλαμβάνονται και οι εντολές "Remove Spikes" και "Relax". Η πρώτη, αφαιρεί τις έντονες ακμές που εμφανίζονται σε μια επιφάνεια του πλέγματος (προεπιλεγμένη από τον χρήστη) και την συμπληρώνει με μια ομαλότερη, ενώ η δεύτερη απλοποιεί περίπλοκες επιφάνειες του (προεπιλεγμένες και πάλι από τον χρήστη), διαγράφοντας εσφαλμένα τμήματα και ομαλοποιώντας τα.

Ο παρακάτω πίνακας 3.2 παρουσιάζει τον αριθμό σημείων από τα οποία απαρτιζόταν κάθε υπό-τμήμα του Δρομέα, τον αριθμό τριγώνων του Mesh στα οποία μετατράπηκαν (πριν την χρήση της εντολής Mesh Doctor και την χειροκίνητη επεξεργασία) και τον αριθμό τριγώνων του Mesh (μετά την εφαρμογή της εντολής Mesh Doctor και την χειροκίνητη επεξεργασία).

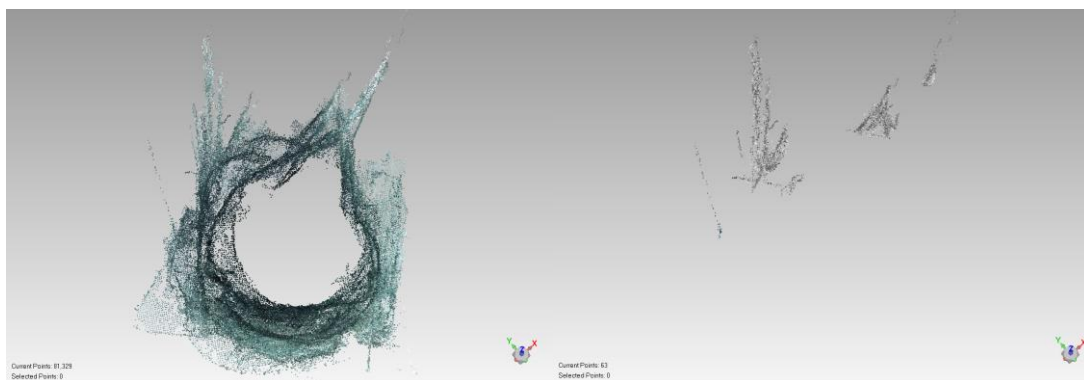
ΤΜΗΜΑΤΑ	ΥΠΟ-ΤΜΗΜΑΤΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ	ΤΡΙΓΩΝΑ MESH (πριν)	ΤΡΙΓΩΝΑ MESH (μετά)
ΚΕΦΑΛΙ	ΚΕΦΑΛΙ 1	81.329	121.316	130.443
	ΚΕΦΑΛΙ 2	64.995	99.155	98.779
ΚΟΡΜΟΣ	ΚΟΡΜΟΣ 1	632.186	870.425	940.950
	ΚΟΡΜΟΣ 2	762.652	1.146.448	1.223.610
	ΚΟΡΜΟΣ 3	792.340	1.196.034	1.263.151
ΠΟΔΙΑ	ΠΟΔΙΑ 1	793.064	1.098.965	935.631
	ΠΟΔΙΑ 2	709.075	1.030.098	1.063.552
	ΠΟΔΙΑ 3	316.479	431.724	415.943
	ΠΟΔΙΑ 4	427.299	540.326	527.178
	ΠΟΔΙΑ 5	1.299.512	1.700.923	1.763.572
	ΠΟΔΙΑ 6	695.556	977.829	990.912
ΒΑΣΗ		3.715.814	2.499.999	2.463.133
ΣΥΝΟΛΟ		10.196.457	11.713.242	11.816.854

Πίνακας 3.2. Παρουσιάζεται ο αριθμός σημείων από τα οποία απαρτιζόταν κάθε υπό-τμήμα του Δρομέα, ο αριθμός τριγώνων του Mesh στα οποία μετατράπηκαν (πριν την χρήση της εντολής Mesh Doctor και την χειροκίνητη επεξεργασία) και ο αριθμός τριγώνων του Mesh (μετά την εφαρμογή της εντολής Mesh Doctor και την χειροκίνητη επεξεργασία).

Παρόλο που το συνολικό άθροισμα των επιμέρους τμημάτων των σημείων του νέφους από την τρίτη στήλη του πίνακα 3.2 είναι 10.290.301 σημεία, ο συνολικός αριθμός των σημείων του μοντέλου από την συλλογή του είναι 10.196.457 σημεία. Η διαφορά αυτή είναι πιθανό να οφείλεται στο ότι είχαν συμπεριληφθεί ίδια σημεία πολλαπλές φορές στα υπο-τμήματα κατά τον διαχωρισμό τους. Παρόμοια, στην πέμπτη στήλη του πίνακα 3.2, όπου το άθροισμα των επιμέρους τριγώνων του κάθε υπο-τμήματος είναι 11.816.854 τρίγωνα, στο τελικό μοντέλο μετά από την συνένωση όλων των τμημάτων και αφού υπέστη επιπλέον διορθώσεις, ο αριθμός των τριγώνων του ανέρχεται στα 12.238.853.

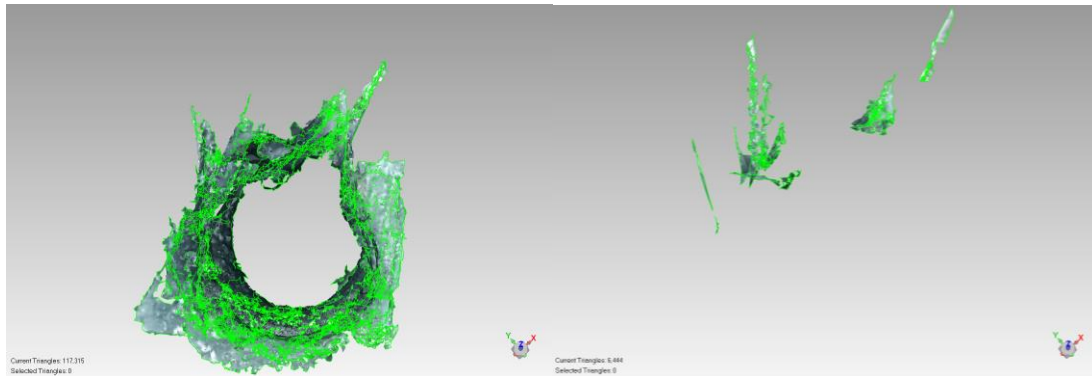
Ειδικές επεξεργασίες

- ✓ Βάση: Στο τμήμα της Mesh βάσης του γλυπτού, εκτός από τα εργαλεία "Mesh Doctor" και "Fill Holes", εφαρμόστηκε επιπλέον τοπικά και το χειροκίνητο εργαλείο Defeature (από την μπάρα Polygons). Το εργαλείο αυτό διαγράφει τα επιλεγμένα τρίγωνα και συμπληρώνει ομοιόμορφα την εκάστοτε επιφάνεια με ορθό τριγωνικό πλέγμα. Εφαρμόστηκε σε περιοχές της βάσης στις οποίες κατά την διαδικασία Wrap, είχαν δημιουργηθεί πολλά προβλήματα όπως ανεστραμμένα και αναδιπλούμενα τρίγωνα, non-manifold πλέγματα και έντονες ακμές καθώς και λόγω του ότι βρίσκονταν κυρίως στην εσωτερική πλευρά του πλέγματος, θα ήταν πιο δύσκολο και χρονοβόρο να διορθωθούν χειροκίνητα. Σκοπός της εφαρμογής του εργαλείου αυτού ήταν να επιτευχθεί η επιφάνεια της βάσης να είναι λεία και ομοιόμορφη σε όλη της την έκταση, όπως και στην πραγματικότητα.
- ✓ Κεφάλι, υπο-τμήμα (1): Πρόκειται για την κορυφή του γλυπτού. Στο συγκεκριμένο υπό-τμήμα, όταν βρισκόταν σε μορφή πυκνού νέφους σημείων, δεν εφαρμόστηκαν οι εντολές "Reduce Noise" ούτε "Select Outliers" διότι αφαιρούνταν σημαντικές πληροφορίες σημείων, τα οποία απέδιδαν ορισμένες λεπτές γυάλινες πλάκες και συνεπώς ήταν απαραίτητα για την ορθή απόδοση της γεωμετρίας του γλυπτού. Όμως, κατά τη διαδικασία του Wrap, αφαιρούνται και πάλι τέτοια σημαντικά τμήματα του γλυπτού. Προκειμένου να επιλυθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα και να ενσωματωθούν και αυτά τα τμήματα στο μοντέλο, δημιουργήθηκαν έξι νέα "Objects" για κάθε ομάδα σημείων του πυκνού νέφους που δεν αποδιδόταν στο συνολικό Wrap. Για την κάθε ομάδα σημείων εκτελέστηκε η εντολή Wrap και στη συνέχεια, τα τριγωνικά πλέγματα αυτά συνενώθηκαν μέσω της εντολής Combine με το υπόλοιπο πρώτο υπό-τμήμα του κεφαλιού (σχήματα 3.11, 3.12, 3.13), για το οποίο είχε εκτελεστεί επίσης η εντολή Wrap.

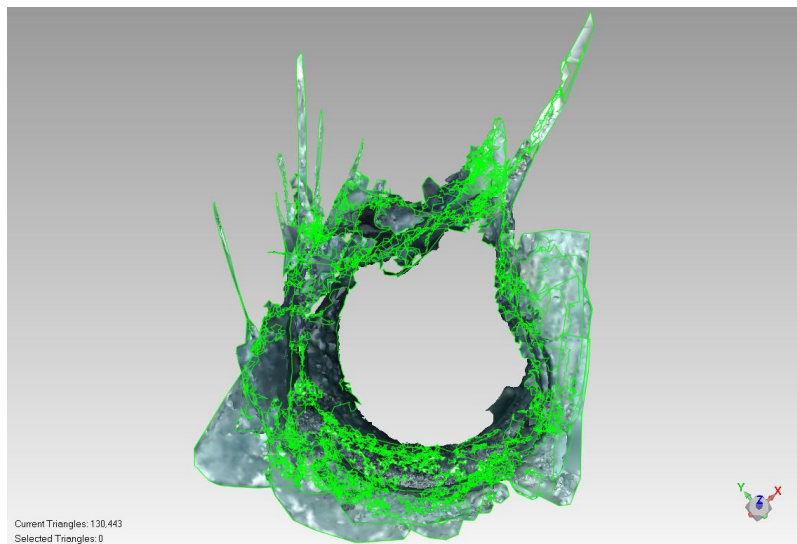


Σχήμα 3.11. Κάτοψη του νέφους σημείων για το υπό-τμήμα «Κεφάλι 1» (αριστερά) και κάτοψη των 6 συνολικά επιμέρους τμημάτων λεπτομέρειας

που απομονώθηκαν από το αρχικό νέφος (δεξιά), σε περιβάλλον Geomagic Wrap.



Σχήμα 3.12. Κάτοψη της *triangular mesh* μορφής του υπό-τμήματος «Κεφάλι 1» χωρίς καμία χειροκίνητη επεξεργασία (αριστερά) και κάτοψη των 6 συνολικά επιμέρους τμημάτων λεπτομέρειας σε *triangular mesh* μορφή (δεξιά), σε περιβάλλον Geomagic Wrap.

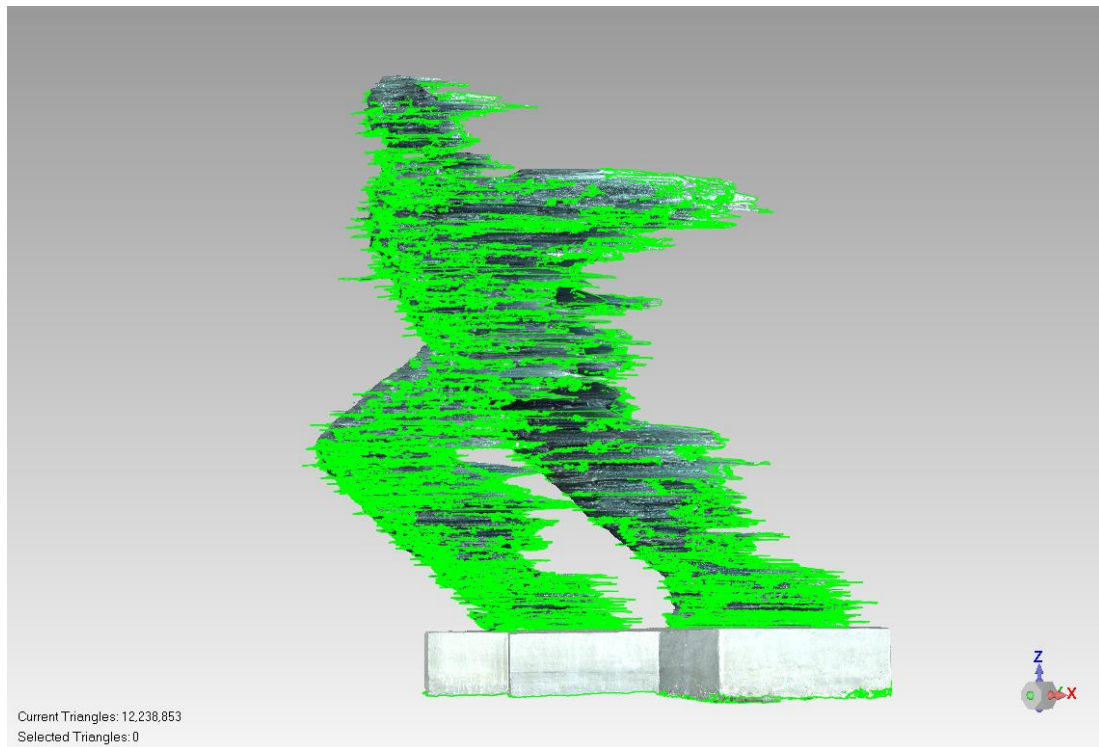


Σχήμα 3.13. Κάτοψη του ολοκληρωμένου υπό-τμήματος «Κεφάλι 1» σε *triangular mesh* μορφή μετά την συνένωση των επιμέρους τμημάτων, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.

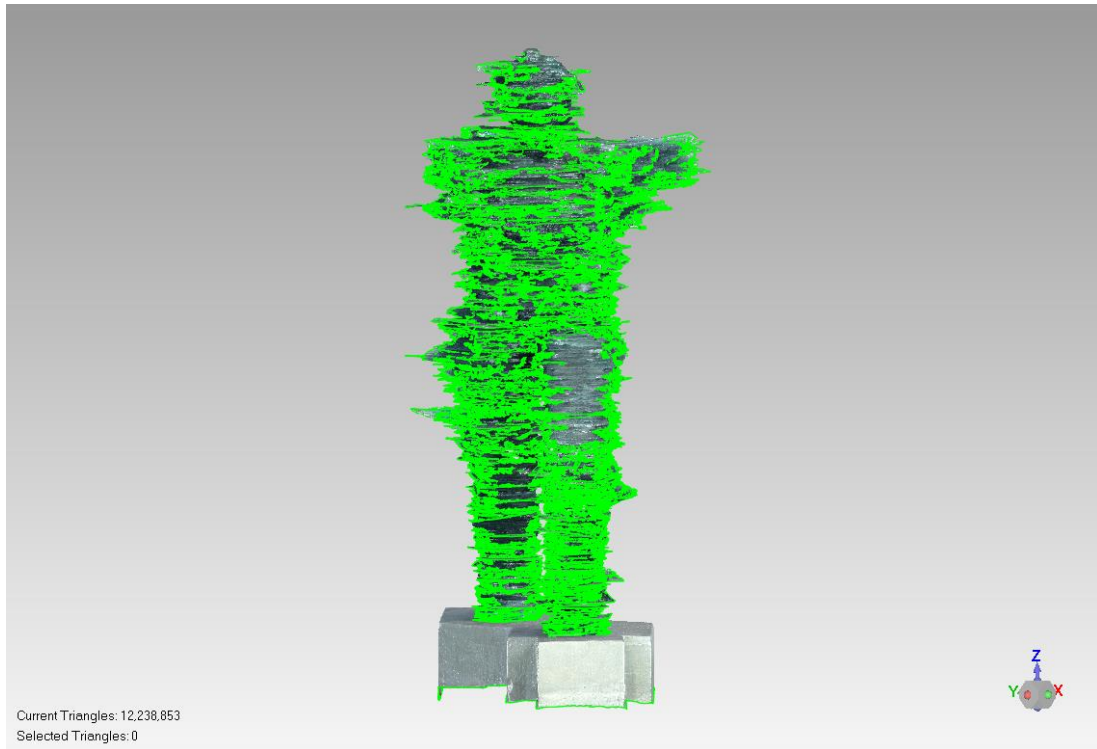
iii. Διαδικασία συνένωσης (Combine)

Τέλος, μετά το πέρας όλων των διεργασιών τόσο στο πυκνό νέφος σημείων αλλά και στο Mesh κάθε επιμέρους τμήματος του γλυπτού, όλα τα τριγωνικά πλέγματα συνενώθηκαν μεταξύ τους. Η διαδικασία αυτή, πραγματοποιήθηκε με την εντολή "Combine". Ο λόγος που προτιμήθηκε η εντολή αυτή έναντι της εντολής "Merge" για την συνένωση, ήταν διότι με την δεύτερη εντολή, στο νέο τριγωνικό πλέγμα (Mesh) που δημιουργούταν από κάθε συνένωση, εντοπιζόνταν αυτόματα εκ νέου τα σφάλματα. Έτσι, αναιρούνταν οι διεργασίες που πραγματοποιήθηκαν

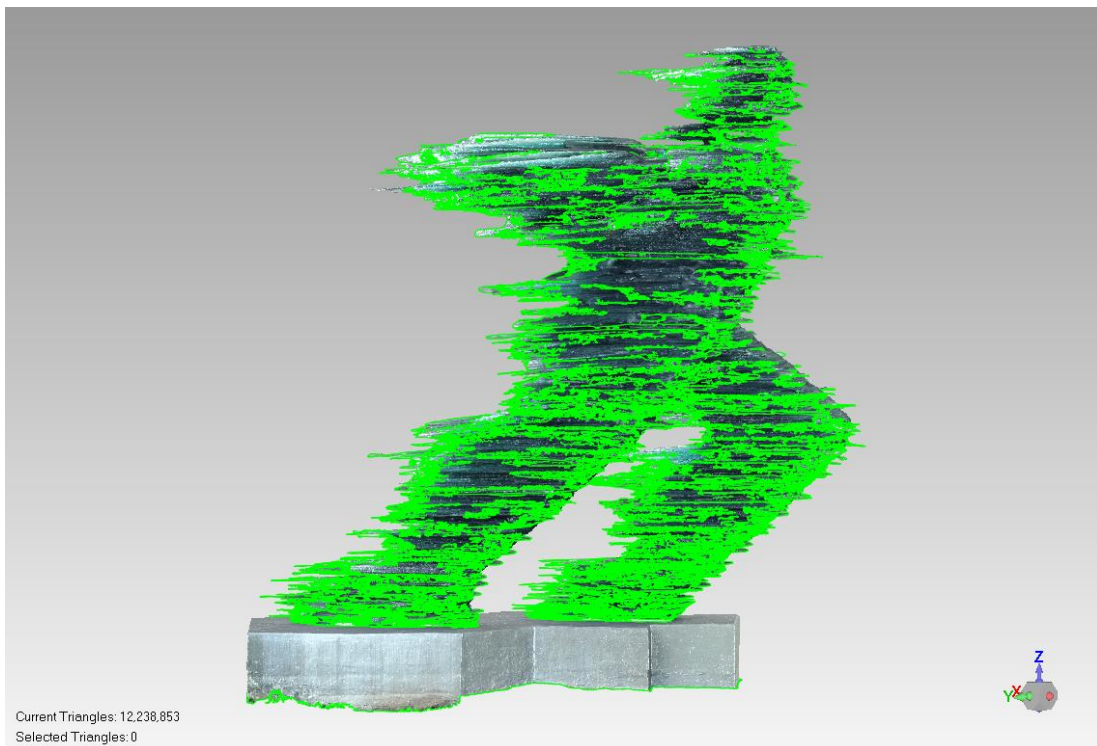
στην παράγραφο Wrap για την αποκατάσταση της γεωμετρίας του γλυπτού. Στην περίπτωση όμως της εντολής "Combine", ο αλγόριθμος συνένωνε τα τριγωνικά πλέγματα ακριβώς έτσι όπως τα δεχόταν, δηλαδή οι χειροκίνητες και μη παρεμβάσεις που είχαν πραγματοποιηθεί παρέμεναν αναλλοίωτες. Στα σχήματα 3.14 έως 3.17 παρουσιάζεται ολοκληρωμένο το μοντέλο του γλυπτού του Δρομέα από διαφορετικές οπτικές γωνίες, ενώ στα σχήματα 3.18 και 3.19 εμφανίζονται ορισμένες λεπτομέρειές του σε μεγέθυνση.



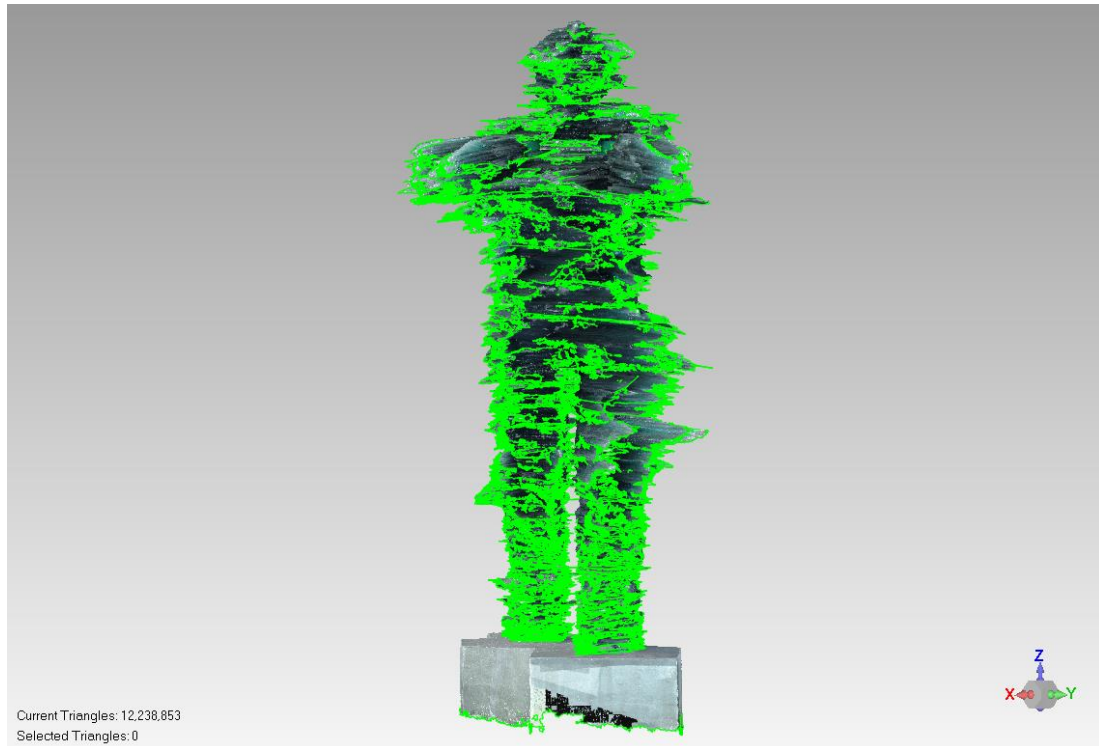
Σχήμα 3.14. Απεικόνιση της πρώτης όψης του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.



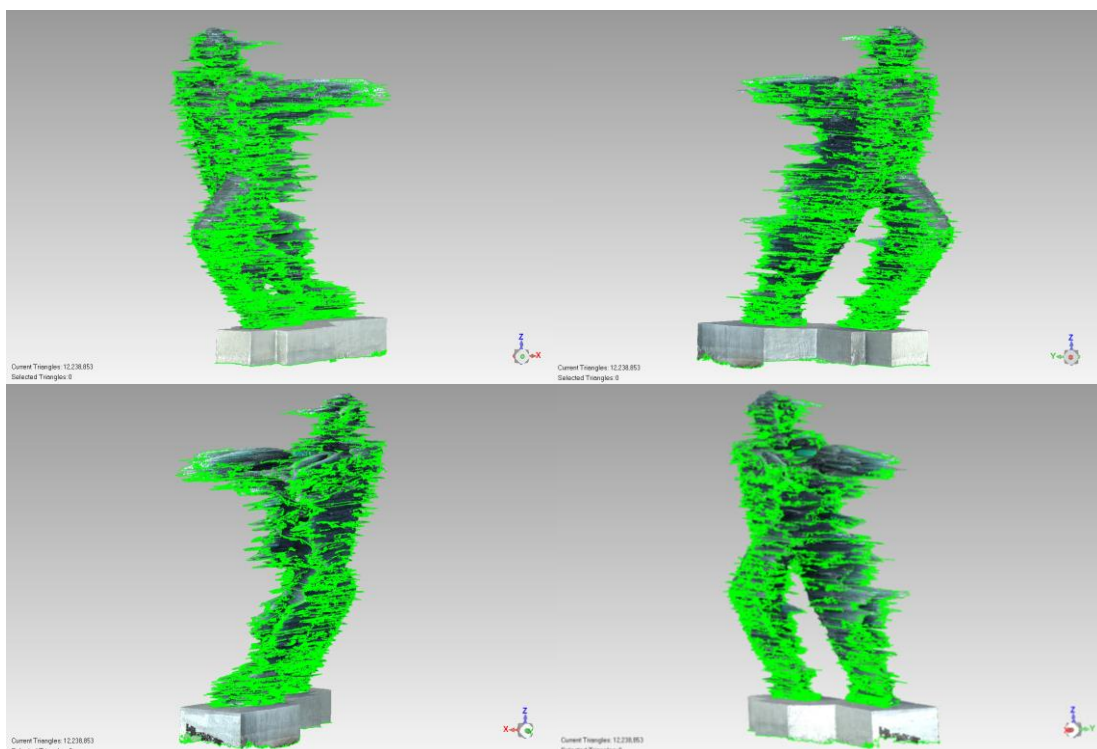
Σχήμα 3.15. Απεικόνιση της δεύτερης όψης του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.



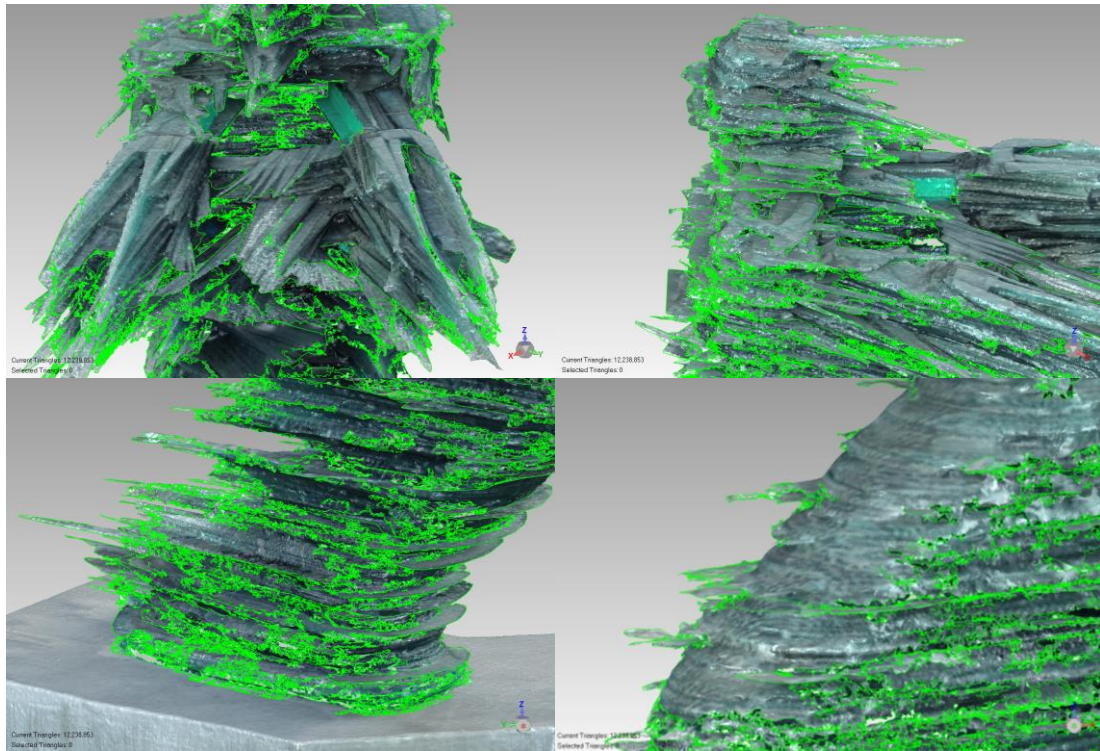
Σχήμα 3.16. Απεικόνιση της τρίτης όψης του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.



Σχήμα 3.17. Απεικόνιση της τέταρτης όψης του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.



Σχήμα 3.18. Απεικόνιση του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού από διαφορετικές οπτικές γωνίες, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.



Σχήμα 3.19. Απεικόνιση ενδεικτικών σημείων λεπτομέρειας του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.

iv. Γεωαναφορά μοντέλου

Γενικά, η γεωαναφορά ενός τριδιάστατου μοντέλου μπορεί να επιτευχθεί με τη χειροκίνητη σκόπευση επ' αυτού τουλάχιστον 3^{ων} σημείων γνωστών συντεταγμένων έτσι ώστε να αποκατασταθεί ο εξωτερικός προσανατολισμός του (δηλαδή να αποδοθεί η κατάλληλη κλίμακα και η θέση του στο χώρο διασφαλίζοντας επίσης και τη στερεοσκοπική του όραση). Το λογισμικό Geomagic Wrap, εκτός από τον παραπάνω τρόπο τοποθέτησης του μοντέλου στο κατάλληλο σύστημα αναφοράς, διαθέτει την ικανότητα να εισάγει το νέφος σημείων στο σύστημα αναφοράς που βρίσκεται ήδη. Στην περίπτωση δηλαδή που το νέφος σημείων προέρχεται απευθείας από τις μετρήσεις του οργάνου, θα πραγματοποιηθεί η αυτόματη εισαγωγή του στο τυχαίο αυτό σύστημα αναφοράς από το λογισμικό. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως που έχει επιλυθεί η όδευση κατά τις εργασίες γραφείου και έχουν τοποθετηθεί τα σημεία του νέφους στο τοπικό σύστημα αναφοράς αυτό (υποκεφάλαιο 3.2, πίνακας 3.1), το νέφος σημείων βρίσκεται ήδη τοποθετημένο στο ορθό τοπικό σύστημα αναφοράς. Συνεπώς, το τελικό τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού που προέκυψε από τα σημεία αυτά της σάρωσης βρίσκεται επίσης στο ορθό τοπικό σύστημα αναφοράς και διαθέτει μετρητικές ιδιότητες, χωρίς την ανάγκη αποκατάστασης του εξωτερικού του προσανατολισμού με χειροκίνητο τρόπο.

v. Απόδοση υφής

Το μοντέλο που παράχθηκε από το λογισμικό του Geomagic Wrap μέσω των σημείων που λήφθηκαν από το laser scanner, παρόλο που διαθέτει χρώμα από τα πρωτογενή δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσω του σαρωτή, δεν διαθέτει την σωστή υφή. Η απόδοση υφής σε πολυγωνικά πλέγματα, μπορεί να αποδοθεί μόνο με τη χρήση φωτογραφιών. Λόγω του ότι το λογισμικό Geomagic Wrap δεν υποστηρίζει την εισαγωγή και επεξεργασία πολλαπλών φωτογραφιών για απόδοση υφής, έγινε χρήση του λογισμικού Metashape της εταιρείας Agisoft. Απαραίτητα για την απόδοση υφής στο τριδιάστατο μοντέλο από τις παρατηρήσεις του laser scanner με την χρήση των φωτογραφιών του Drone, ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου αναφοράς και χάρτη υφής του από τις φωτογραφίες στο λογισμικό Metashape και μετέπειτα η αντικατάσταση του μοντέλου αναφοράς με το μοντέλο του οποίου η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε στο Geomagic Wrap. Πιο αναλυτικά, τα βήματα εκτέλεσης της προαναφερθείσας διαδικασίας περιγράφονται παρακάτω.

1^ο Βήμα: Δημιουργία ενός τριδιάστατου μοντέλου αναφοράς στο λογισμικό Agisoft Metashape Pro από τις φωτογραφίες που ελήφθησαν από το Drone. Το συγκεκριμένο μοντέλο δεν αποτελούσε το τελικό παραδοτέο μοντέλο, αλλά η χρήση του ήταν αποκλειστικά και μόνο ως επιφάνεια αναφοράς. Επομένως, η ποιότητά του ορίστηκε κατά την παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων (dense point cloud) αλλά και κατά την παραγωγή του πολυγωνικού πλέγματος (mesh) ήταν η low για εξοικονόμηση χρόνου. Το μοντέλο αυτό στο λογισμικό Metashape, βρισκόταν σε σχετικό σύστημα αναφοράς του στερεομοντέλου. Σημειώνεται επίσης πως το συγκεκριμένο πλέγμα του μοντέλου, αποτελούταν από πολυγωνικές επιφάνειες (polygon mesh) και όχι αποκλειστικά από τριγωνικές όπως το μοντέλο που δημιουργήθηκε στο λογισμικό Geomagic Wrap, λόγω της διαφορετικής διαδικασίας παραγωγής των δύο και της χρήσης διαφορετικών λογισμικών.

2^ο Βήμα: Στο λογισμικό Metashape, δημιουργήθηκε χάρτης υφής (texture map) πάνω στο μοντέλο αναφοράς από τις φωτογραφίες του Drone. Το λογισμικό έχει την ικανότητα να δημιουργεί δισδιάστατο (2D) χάρτη υφής για ένα τριδιάστατο μοντέλο με βάση τη θέση των φωτογραφιών πάνω σε αυτό. Οι ρυθμίσεις ορίστηκαν ως εξής: στο mapping mode η επιλογή Keep UV, έτσι ώστε να δημιουργηθεί δισδιάστατος χάρτης υφής στους άξονες U και V (όπως αναλύθηκε στο υπό-κεφάλαιο 2.3.6.), και στο blending mode η επιλογή mosaic (default), έτσι ώστε πραγματοποιηθεί η ομαλή ανάμειξη των επικαλυπτόμενων εικόνων και

να αποφευχθούν οι γραμμές ραφής (seamline) κατά την παραγωγή της υφής.

3^ο Βήμα: Έγινε εξαγωγή του μοντέλου αναφοράς από το Metashape σε μορφή .ply και έγινε η εισαγωγή του σε ένα νέο Project στο λογισμικό Geomagic Wrap. Στο ίδιο Project πραγματοποιήθηκε και η εισαγωγή του επεξεργασμένου μοντέλου τριγωνικού πλέγματος (triangular mesh) από τις μετρήσεις του laser scanner. Παρατηρείται πως τα δύο μοντέλα βρίσκονται ορθώς σε διαφορετικές θέσεις στον τριδιάστατο χώρο διότι το μοντέλο τριγωνικού πλέγματος που επεξεργάστηκε στο Geomagic Wrap είναι τοποθετημένο στο σύστημα αναφοράς του οργάνου laser scanner με το οποίο ελήφθησαν τα σημεία (δηλαδή στο σύστημα αναφοράς που δημιουργήθηκε κατά τη συνόρθωση του δικτύου – υποκεφάλαιο 3.2.), ενώ το μοντέλο από το Metashape είναι τοποθετημένο σε σχετικό σύστημα αναφοράς του στερεομοντέλου.

4^ο Βήμα: Στο Project αυτό, με την εντολή "Move Object", έγινε η μετακίνηση του μοντέλου του laser scanner έτσι ώστε να ταυτιστεί απόλυτα με τη θέση του μοντέλου αναφοράς από το Metashape.

5^ο Βήμα: Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η εξαγωγή του μοντέλου τριγωνικού πλέγματος του laser scanner σε μορφή .ply και έγινε η εισαγωγή του στο λογισμικό Metashape στο ίδιο Project που δημιουργήθηκε αρχικά ο χάρτης υφής. Το μοντέλο τριγωνικού πλέγματος αντικατέστησε το μοντέλο αναφοράς και θα έπρεπε ο χάρτης υφής να εφαρμοστεί πάνω σε αυτό.

Αποτελέσματα

Η παραπάνω διαδικασία δεν ήταν επιτυχής καθώς μετά το πέρας της δεν είχε αποδοθεί ομοιόμορφη υφή στο μοντέλο και πολλά από τα τμήματά του είχαν αποδοθεί με μαύρο χρώμα (δηλαδή αναγνωρίζονταν από το λογισμικό ως ανάποδες επιφάνειες). Οι λόγοι αποτυχίας της διαδικασίας οφείλονται στο γεγονός ότι τα δύο τριδιάστατα μοντέλα του γλυπτού που παράχθηκαν, αποτελούνταν από διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως κατανομή τριγώνων, πλήθος κορυφών, συνδεσιμότητα ανάμεσα στα πολύγωνα κ.α.. Από τη μια πλευρά, το μοντέλο αναφοράς δημιουργήθηκε στο λογισμικό Metashape μέσω της πολυεικονικής διαδικασίας από φωτογραφίες του Drone και επρόκειτο για πολυγωνικό μοντέλο με τέσσερεις ή και παραπάνω έδρες. Από την άλλη πλευρά, το μοντέλο από τα σημεία του laser scanner που παράχθηκε στο Geomagic Wrap,

δημιουργήθηκε μέσω άγνωστης διαδικασίας και αποτελούταν αποκλειστικά από τριγωνικές έδρες. Έτσι, ήταν αδύνατο να αποδοθεί η κατάλληλη υφή στο τριγωνικό μοντέλο του Δρομέα που προερχόταν από τις μετρήσεις του laser scanner.



Σχήμα 3.20. Απεικόνιση του τριδιάστατου μοντέλου που έχει προκύψει από τα δεδομένα του laser scanner, στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

3.3.3. Agisoft Metashape (Professional)

Το Metashape (Professional) της εταιρείας Agisoft, είναι ένα λογισμικό φωτογραμμετρικών διεργασιών, το οποίο ενσωματώνει τεχνολογίες μηχανικής εκμάθησης με σκοπό, μεταξύ άλλων, την παραγωγή 3D ψηφιακών μοντέλων με υφή, την παραγωγή αραιού και πυκνού νέφους σημείων και ορθοφωτογραφιών. Η εταιρεία ιδρύθηκε το 2006 στη Ρωσία και εστιάζει στην επεξεργασία εικόνων με κατάλληλους αλγορίθμους και με τη χρήση ψηφιακών φωτογραμμετρικών τεχνικών.

Κύρια χαρακτηριστικά του λογισμικού αποτελούν ο τριγωνισμός εικόνων διαφορετικής προέλευσης (π.χ. αεροφωτογραφίες διαφόρων κλίσεων, κοντινές λήψεις, δορυφορικές εικόνες), η δυνατότητα αυτοβαθμονόμησης, η παραγωγή αραιού και πυκνού νέφους σημείων μέσω των φωτογραφιών, η παραγωγή τριδιάστατων ψηφιακών μοντέλων, DSM (digital surface model - ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας), DTM (digital terrain model – ψηφιακό μοντέλο εδάφους), η δυνατότητα

μέτρησης αποστάσεων, όγκου, εμβαδών και στερεοσκοπικών μετρήσεων, η παραγωγή γεωαναφερμένων ορθοφωτογραφιών και η χρήση GCP (ground control points – φωτοσταθερά σημεία) για τη γεωαναφορά και τον έλεγχο της ακρίβειας των αποτελεσμάτων [77].

Το λογισμικό χρησιμοποιεί την πολυεικονική μέθοδο για την ανακατασκευή τριδιάστατων μοντέλων από εικόνες ως δεδομένα εισόδου, της οποίας τα βασικά στάδια εκτέλεσης αναλύθηκαν στο υποκεφάλαιο 2.3 της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

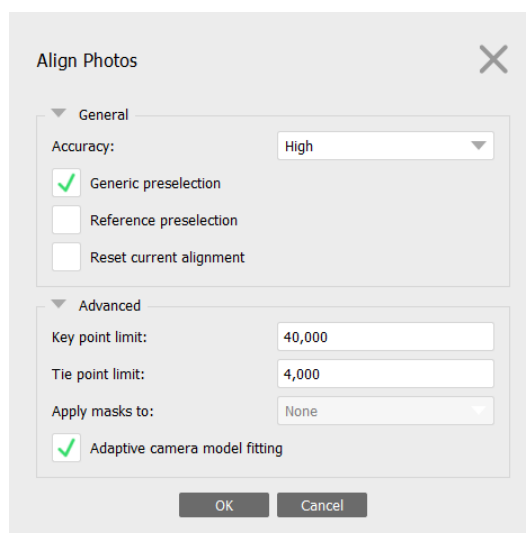
Με βάση τα παραπάνω, στο λογισμικό Metashape (Professional) πραγματοποιήθηκε η δημιουργία ενός νέου Project μαζί με νέο chunk. Πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των 615 από τις 628 εικόνες λήψης του Drone. Οι 13 εικόνες εξαιρέθηκαν από το σύνολο δεδομένων λόγω λανθασμένης φωτεινότητας (υπερβολικό φως ή υπερβολικό σκοτάδι) και ύπαρξη φυσικών εμποδίων που παρεμβάλλονταν στο γλυπτό (κλαδιά και φύλλα δέντρων, φανάρια τους δρόμους κ.α.).

Προτού ξεκινήσει η διαδικασία της πολυεικονικής ανακατασκευής, πραγματοποιήθηκε έλεγχος ποιότητας για το σύνολο των φωτογραφιών έτσι ώστε να απομακρυνθούν από το σύνολο δεδομένων προβληματικές εικόνες ή εικόνες μειωμένης ποιότητας οι οποίες θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά την μετέπειτα διαδικασία ευθυγράμμισης των εικόνων [13][76]. Με τον έλεγχο αυτό, ανιχνεύονταν τα επίπεδα ευκρίνειας του πιο καλά εστιασμένου τμήματος της κάθε εικόνας και ανάλογα με την απόκλιση από μια προκαθορισμένη από το λογισμικό τιμή (units-μονάδες), αποφασιζόταν η αποδοχή ή μη των φωτογραφιών για τις επόμενες διεργασίες. Συγκεκριμένα προτείνεται, από το λογισμικό, οι εικόνες με τιμή ποιότητας μικρότερη από 0.5 μονάδες να απομακρύνονται από το σύνολο δεδομένων (disable) [76]. Από τον έλεγχο των 615 φωτογραφιών του Project, οι τιμές ποιότητάς τους κυμαινόντουσαν ανάμεσα σε 0.838951 και 1.06882 μονάδες, κάτι το οποίο υποδείκνυε την πολύ καλή πηγή προέλευσης τους. Παρ' όλα αυτά, οι 12 εικόνες των οποίων η τιμή ποιότητας ήταν μεγαλύτερη από 1 μονάδα, επανεξετάστηκαν χειροκίνητα με οπτικό έλεγχο για τυχόν προβληματική ποιότητα, διότι αποτελεί σύνηθες φαινόμενο η λανθασμένη έκφραση του αποτελέσματος ως θετικό (false positive).

i. Ευθυγράμμιση εικόνων

Στη συνέχεια, αρχικό βήμα της πολυεικονικής διαδικασίας, αποτελούσε η ευθυγράμμιση (προσανατολισμός) των εικόνων. Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2, κατά το στάδιο αυτό, εφαρμόζονται οι διαδικασίες εντοπισμού των επικαλυπτόμενων τμημάτων των εικόνων, η συνταύτισή τους και ο υπολογισμός δομής από κίνηση (Structure from Motion -

SfM). Με το πέρας της διαδικασίας αυτής, αποκαθίσταται ο εξωτερικός και εσωτερικός προσανατολισμός των εικόνων καθώς επίσης δημιουργείται και το αραιό νέφος σημείων της εικονιζόμενης σκηνής. Η διαδικασία αυτή στο λογισμικό Metashape (Professional), εκτελείται με την εντολή ευθυγράμμισης (Align) όλων των φωτογραφιών, ενώ πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή των παρακάτω ρυθμίσεων (σχήμα 3.21).

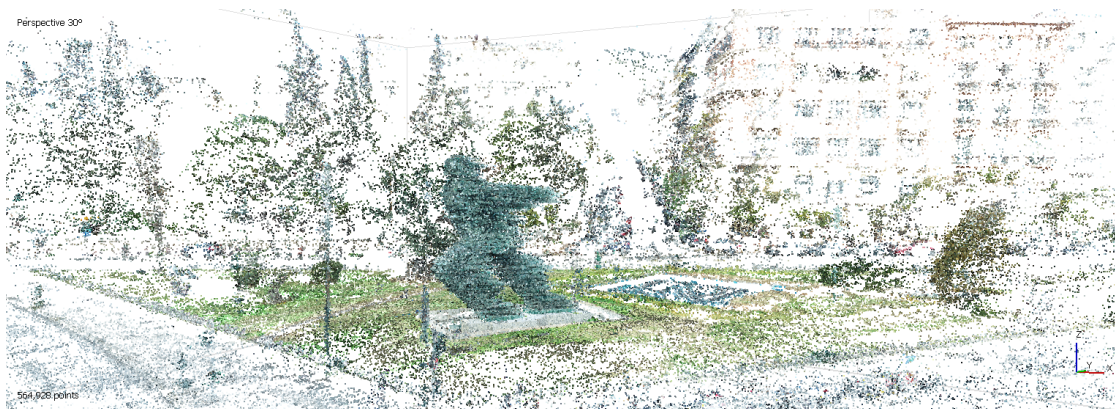


Σχήμα 3.21. Ρυθμίσεις διαδικασίας ευθυγράμμισης εικόνων (align photos) στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

Αναλυτικά, η ακρίβεια της διαδικασίας ορίστηκε να είναι υψηλή (high) με σκοπό να εντοπισθεί όσο το δυνατόν βέλτιστα η θέση της κάθε κάμερας (εικόνας) σε σχέση με τις υπόλοιπες. Επιλέχθηκε η ρύθμιση "Generic preselection" ώστε το λογισμικό να χρησιμοποιεί χαμηλότερη ποιότητα για τις εικόνες και να εξετάζει την κάθε μια με ένα υποσύνολο των φωτογραφιών για την εύρεση κοινών χαρακτηριστικών αντί για όλες τις εικόνες του chunk, με σκοπό την εξοικονόμηση χρόνου. Το πεδίο "Key point limit" ορίζει τον αριθμό χαρακτηριστικών σημείων μέχρι τα οποία ο αλγόριθμος επιτρέπεται να εντοπίζει σε κάθε ζεύγος φωτογραφιών, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση 40.000 σημεία (η προεπιλεγμένη τιμή). Το πεδίο "Tie point limit" ορίζει τον αριθμό από τα παραπάνω εντοπισμένα χαρακτηριστικά σημεία τα οποία επιτρέπεται να λαμβάνει υπόψη του ο αλγόριθμος για την διαδικασία της συνταύτισης των εικόνων. Η επιλογή "Adaptive camera model fitting" αναφέρεται στη χρήση των παραμέτρων της κάμερας κατά τη διαδικασία της ευθυγράμμισης των εικόνων και χρησιμοποιήθηκε διότι οι εικόνες λήψης προέρχονταν από αξιόπιστο και εξελιγμένο όργανο μετρήσεων [76].

Με το πέρας της διαδικασίας της ευθυγράμμισης των εικόνων, εκτός από τον εντοπισμό των σχετικών θέσεων όλων των εικόνων μεταξύ τους, δημιουργήθηκε ταυτόχρονα και τριδιάστατο αραιό νέφος σημείων

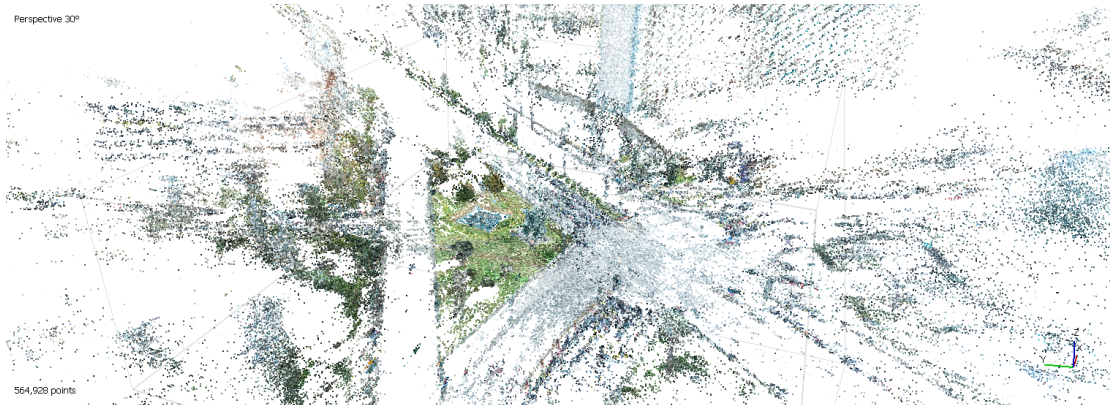
(sparse point cloud) τόσο για το ίδιο το γλυπτό όσο και για ολόκληρη την περιβάλλουσα περιοχή του, η οποία απεικονιζόταν στις εικόνες. Το συνολικό αραιό νέφος σημείων αποτελούταν από 564.928 σημεία και η διαδικασία ευθυγράμμισης των εικόνων και παραγωγής του αραιού νέφους διήρκεσε συνολικά 2 ώρες και 34 λεπτά. Ταυτόχρονα, για κάθε εικόνα δημιουργήθηκαν χάρτες βάθους (σχετική θεωρία στο υποκεφάλαιο 2.3.3) μέσω της διαδικασίας της πυκνής συνταύτισης εικόνων, οι οποίοι απεικονίζουν τη δισδιάστατη αναπαράσταση του βάθους της κάθε εικονοψηφίδας από τις οποίες απαρτίζεται [13]. Η διαδικασία παραγωγής των χαρτών βάθους για κάθε εικόνα διήρκεσε 11 ώρες και 33 λεπτά. Συνεπώς, ο συνολικός χρόνος που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση της διαδικασίας ευθυγράμμισης των εικόνων ήταν 14 ώρες και 14 λεπτά. Σημειώνεται πως κατά το πέρας της διαδικασίας ευθυγράμμισης των εικόνων, 8 εικόνες δεν προσανατολίστηκαν ορθά σε σχέση με τις υπόλοιπες (σχήμα 3.26). Συνεπώς, οι εικόνες αυτές απενεργοποιήθηκαν από το υπόλοιπο σύνολο δεδομένων για να μη επηρεάσουν αρνητικά τις επόμενες διεργασίες.



Σχήμα 3.22. Απεικόνιση του τριδιάστατου αραιού νέφους σημείων από την ευθυγράμμιση των εικόνων για όλη τη σκηνή που απεικονίζουν οι εικόνες του Drone (I) στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



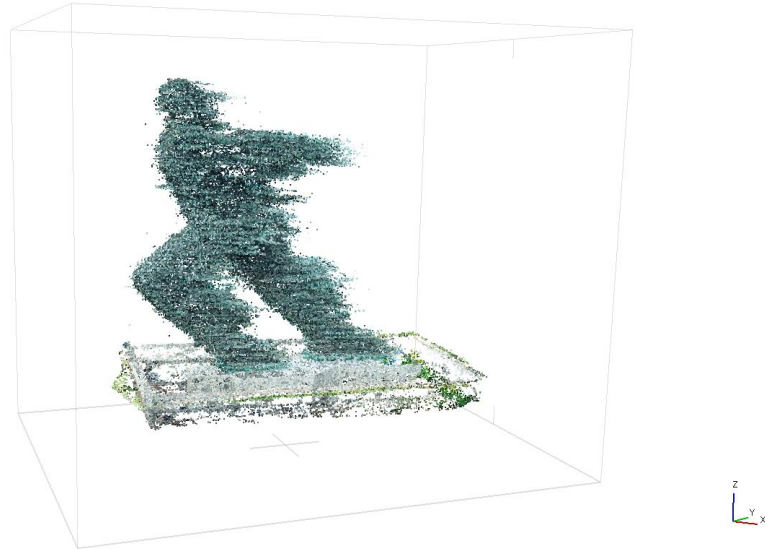
Σχήμα 3.23. Απεικόνιση του τριδιάστατου αραιού νέφους σημείων από την ευθυγράμμιση των εικόνων για όλη τη σκηνή που απεικονίζουν οι εικόνες του Drone (II) στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



Σχήμα 3.24. Απεικόνιση του τριδιάστατου αραιού νέφους σημείων από την ευθυγράμμιση των εικόνων για όλη τη σκηνή που απεικονίζουν οι εικόνες του Drone (III) στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

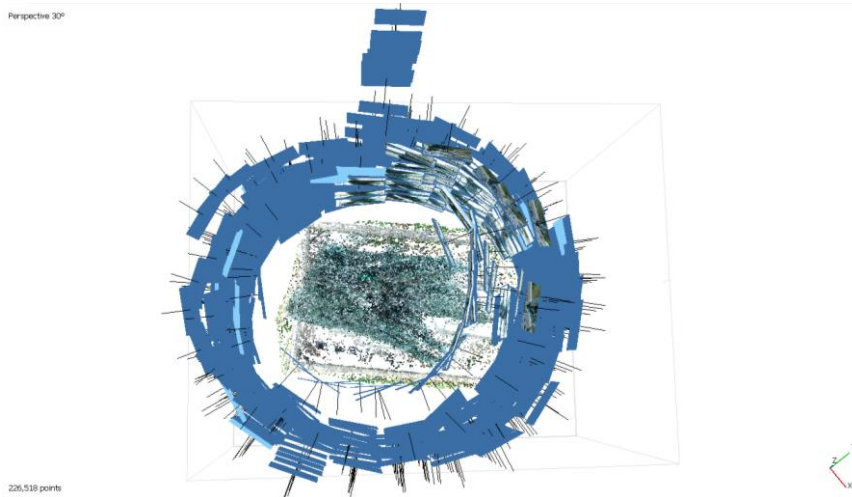
Στο παραπάνω αραιό νέφος σημείων, πραγματοποιήθηκε ο χειροκίνητος καθαρισμός του από την περιττή πληροφορία που δεν αφορούσε το γλυπτό και από τον θόρυβο περιμετρικά του, και έτσι απέμειναν 226.518 σημεία τα οποία αφορούσαν αποκλειστικά το γλυπτό του Δρομέα.

Perspective 30°



Σχήμα 3.25. Αραιό νέφος σημείων του γλυπτού μετά την απομάκρυνση του περιττού θορύβου στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

Perspective 30°

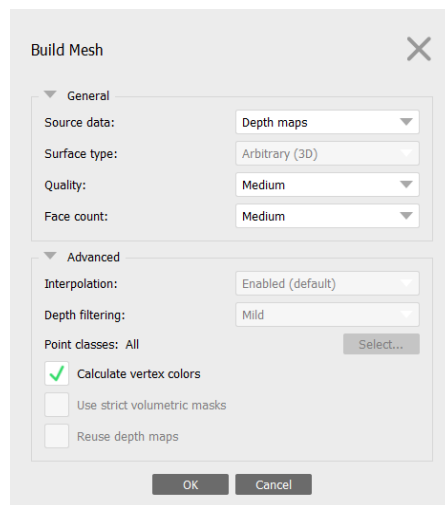


Σχήμα 3.26. Αραιό νέφος σημείων του γλυπτού με την θέση όλων των καμερών μετά την ευθυγράμμιση τους στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

ii. Παραγωγή πολυγωνικού πλέγματος (Polygonal Mesh)

Επόμενο βήμα, αποτελεί η δημιουργία της πολυγωνικής επιφάνειας του γλυπτού (polygon mesh). Με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο του υποκεφαλαίου 2.3.5, επιλέχθηκε η διαδικασία της ανακατασκευής του μοντέλου μέσω των χαρτών βάθους που παράχθηκαν κατά τη διαδικασία της πυκνής συνταύτισης εικόνων. Η μέθοδος αυτή είναι λιγότερο απαιτητική καθώς χρησιμοποιεί λιγότερους πόρους σε σχέση με την χρήση νεφών σημείων για την ανακατασκευή, και συνεπώς δημιουργεί καλύτερο τελικό αποτέλεσμα [76]. Η παραπάνω διαδικασία στο

λογισμικό Metashape (Professional), εκτελείται με την εντολή κατασκευής πλέγματος (Build Mesh), ενώ για το συγκεκριμένο γλυπτό πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή των παρακάτω ρυθμίσεων.



Σχήμα 3.27. Ρυθμίσεις διαδικασίας κατασκευής του πολυγωνικού πλέγματος (mesh) στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

Αναλυτικά, η πηγή προέλευσης των δεδομένων για την ανακατασκευή του γλυπτού ορίστηκε να είναι οι χάρτες βάθους (depth maps). Στο πεδίο "Surface type", το οποίο αναφέρεται στο είδος της επιφάνειας, ορίστηκε η προεπιλεγμένη δυνατότητα του αυθαίρετου τύπου επιφανείας (Arbitrary 3D), κατά την οποία το λογισμικό εκτελεί τις διεργασίες χωρίς να υποθέτει τον τύπο του ζητούμενου αντικειμένου προς μοντελοποίηση. Στο πεδίο "Quality", το οποίο αναφέρεται στην ποιότητα ανακατασκευής και εξαγωγής πληροφορίας από τους χάρτες βάθους, ορίστηκε να είναι η προεπιλογή του λογισμικού, δηλαδή η μεσαία (medium). Η ποιότητα αυτή εφαρμόστηκε με σκοπό την εξοικονόμηση του αποθηκευτικού χώρου του υπολογιστή αλλά κυρίως διότι κρίθηκε επαρκής και ικανοποιητική, δεδομένου του γεγονότος πως η διαφορά στην αλλαγή βαθμίδας ποιότητας συνεπάγεται στη μείωση ή αύξηση (ανάλογα την αναβάθμιση ή υποβάθμιση ποιότητας) του 1/4 της κάθε εικόνας της προηγούμενης ποιότητας. Επομένως, οι ουσιαστικές αλλαγές στο πολυγωνικό πλέγμα (mesh) θα ήταν αμελητέες και ανεπαίσθητες, εφόσον το αρχικό σύνολο δεδομένων εικόνων κρίνεται μεγάλο και υψηλής ποιότητας. Στο πεδίο "Face count", το οποίο αφορά τον μέγιστο αριθμό πολυγώνων του τελικού πλέγματος, ορίστηκε επίσης να είναι η προεπιλογή του λογισμικού, δηλαδή medium. Τέλος, με την χρήση της επιλογής "Calculate vertex colors", δόθηκε η δυνατότητα χρήσης της πληροφορίας χρώματος από τις αρχικές εικόνες στο τριδιάστατο πολυγωνικό πλέγμα [76].

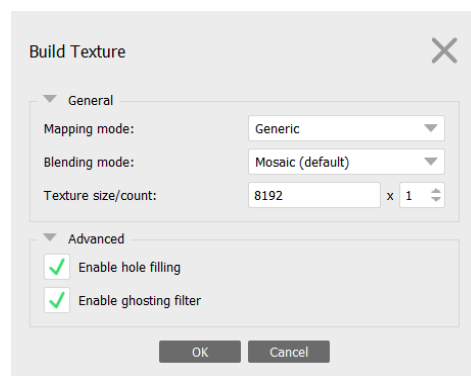


Σχήμα 3.28. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, χωρίς υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

Η εκτέλεση της παραπάνω διαδικασίας διήρκησε 7 ώρες και 6 λεπτά (εφόσον χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες βάθους σαν πηγή δεδομένων οι οποίοι δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο στάδιο ευθυγράμμισης των εικόνων) και με το πέρας της το τριδιάστατο μοντέλο της συνολικής σκηνής που απεικονιζόταν στις εικόνες, αποτελούταν από 1.821.476 πολύγωνα και 914.576 κορυφές. Μετά τη χειροκίνητη διαγραφή της περιττής πληροφορίας περιμετρικά του γλυπτού, το τελικό τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού του Δρομέα αποτελούταν από 840.139 πολύγωνα και 420.396 κορυφές, όπως υποδεικνύεται στο παραπάνω σχήμα 3.28.

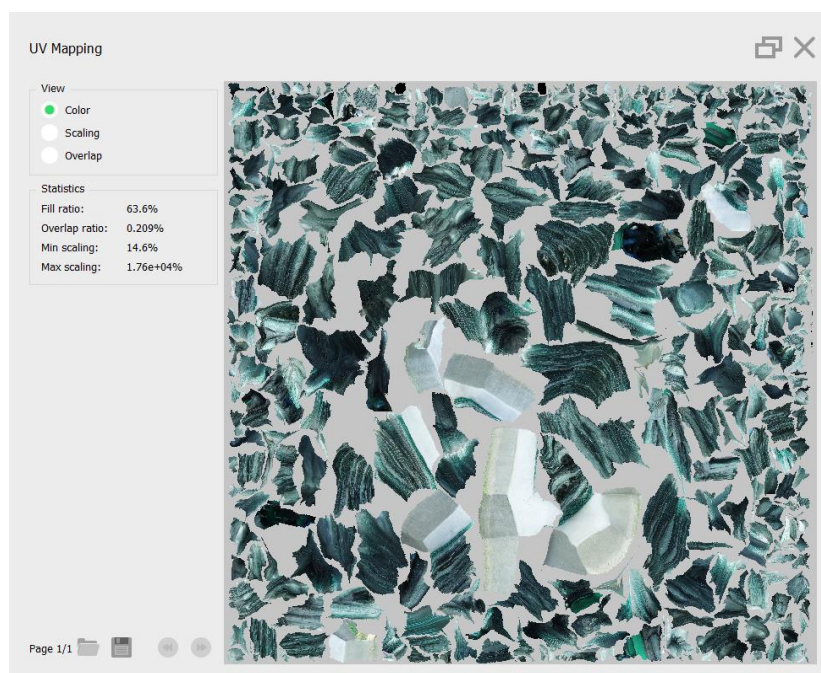
iii. Απόδοση υφής

Επόμενο στάδιο της ανακατασκευής του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, αποτελούσε η απόδοση υφής σε αυτό. Η διαδικασία αυτή στο λογισμικό Metashape (Pro), εκτελείται με την εντολή κατασκευής υφής (Build Texture), ενώ πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή των παρακάτω ρυθμίσεων.



Σχήμα 3.29. Ρυθμίσεις διαδικασίας κατασκευής του χάρτη υφής του γλυπτού στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

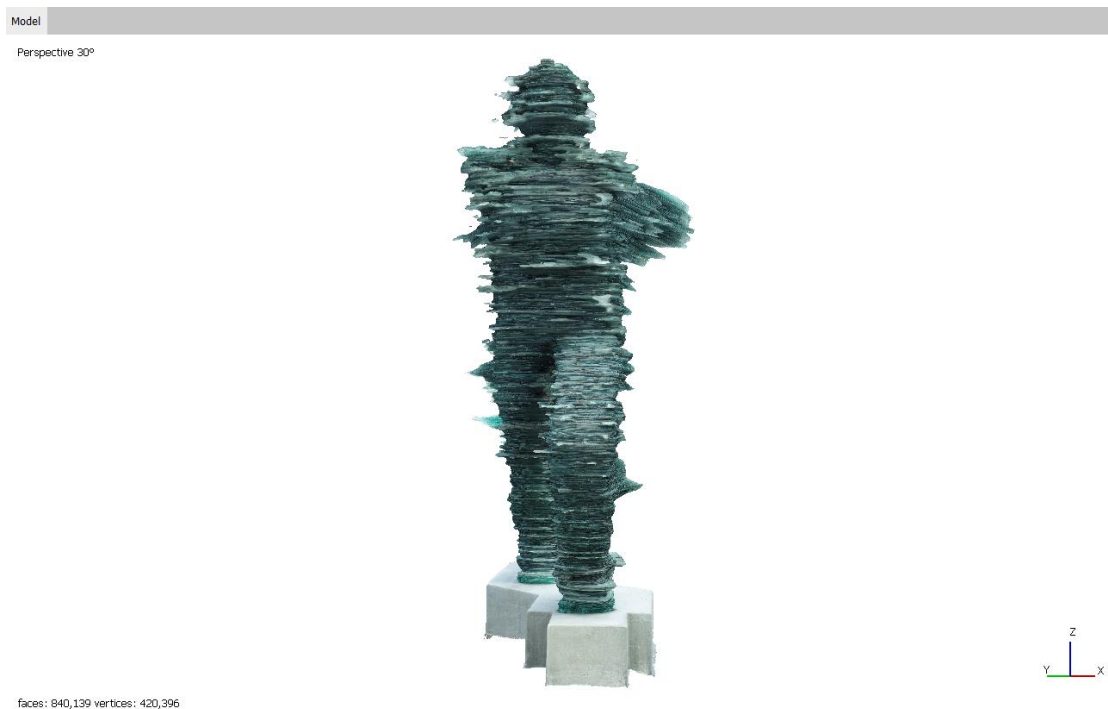
Αναλυτικά, στο πεδίο "Mapping mode", στο οποίο προσδιορίζεται ο τρόπος με τον οποίο εκφράζεται η υφή του αντικειμένου στον Άτλα υφής, ορίστηκε η προεπιλεγμένη από το λογισμικό επιλογή "Generic" η οποία ενδείκνυται για αντικείμενα με αυθαίρετο (arbitrary) σχήμα. Στο πεδίο "Blending mode" ορίστηκε η επιλογή "Mosaic (default)", κατά την οποία τα επικαλυπτόμενα τμήματα των εικόνων με χαμηλή συχνότητα συνενώνονται ενώ για τα τμήματα υψηλών συχνοτήτων επιλέγεται η απόδοση της υφής τους από μια μεμονωμένη εικόνα βέλτιστης ανάλυσης. Λόγω του μεγάλου μεγέθους του γλυπτού και της υψηλής επιθυμητής ακρίβειας υφής, η ανάλυση του χάρτη υφής στο πεδίο "Texture size/count" αποφασίστηκε να είναι 8k, δηλαδή οι διαστάσεις του ορίστηκαν 8192 x 8192 pixels. Επιπλέον, επιλέχθηκαν οι επιλογές "Enable hole filling" και "Enable ghosting filter" προκειμένου το αποτέλεσμα να ήταν απαλλαγμένο από κενά και σφάλματα κινούμενων αντικειμένων. Η διαδικασία δημιουργία του χάρτη υφής με τις παραπάνω παραμέτρους, διήρκησε 2 ώρες και 14 λεπτά. Παρακάτω παρουσιάζεται τόσο ο διδιάστατος χάρτης αυτός, όσο και το τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού με την εφαρμογή της υφής του.



Σχήμα 3.30. Χάρτης υφής του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού.



Σχήμα 3.31. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (I).



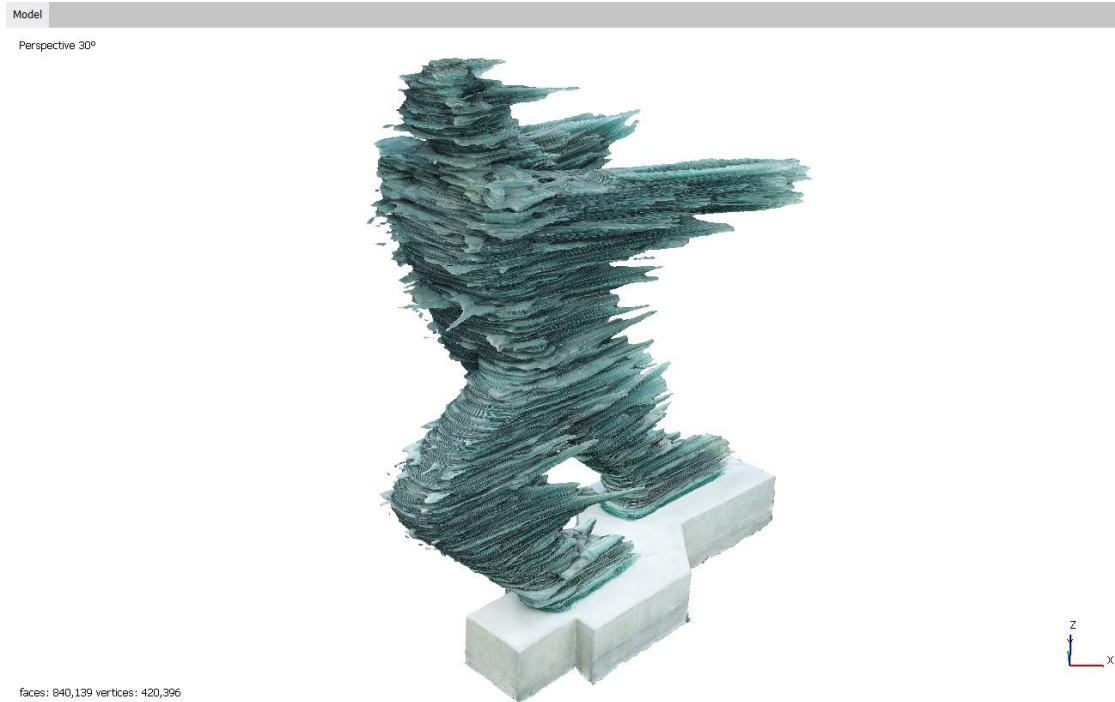
Σχήμα 3.32. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (II).



Σχήμα 3.33. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (III).



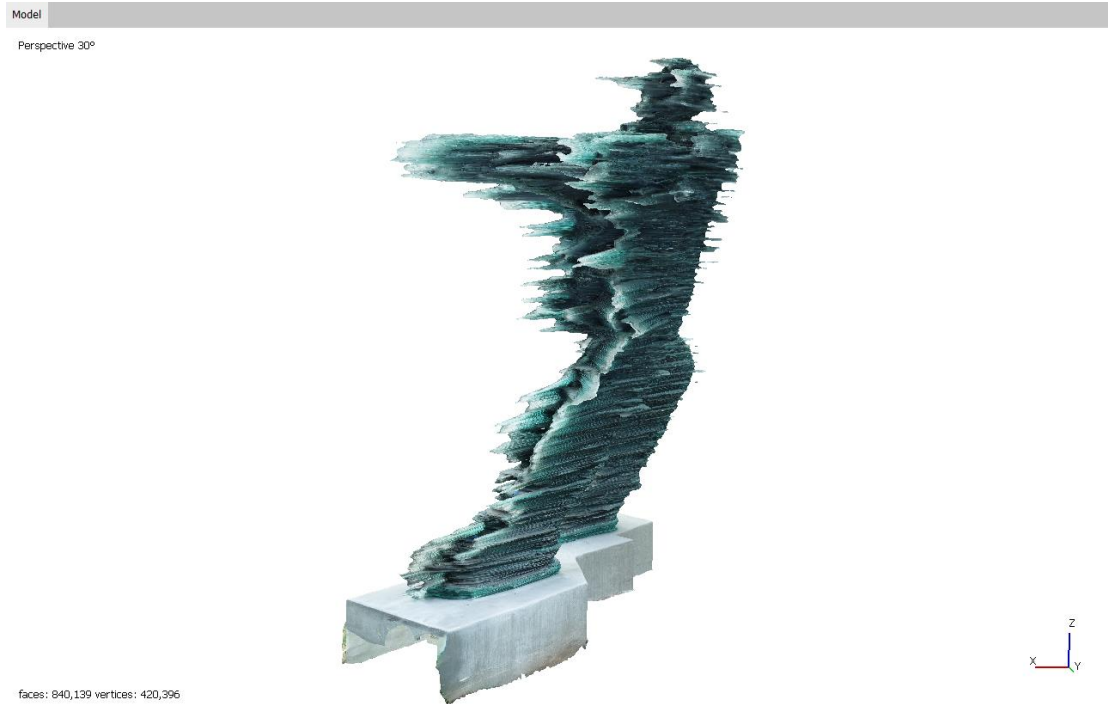
Σχήμα 3.34. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (IV).



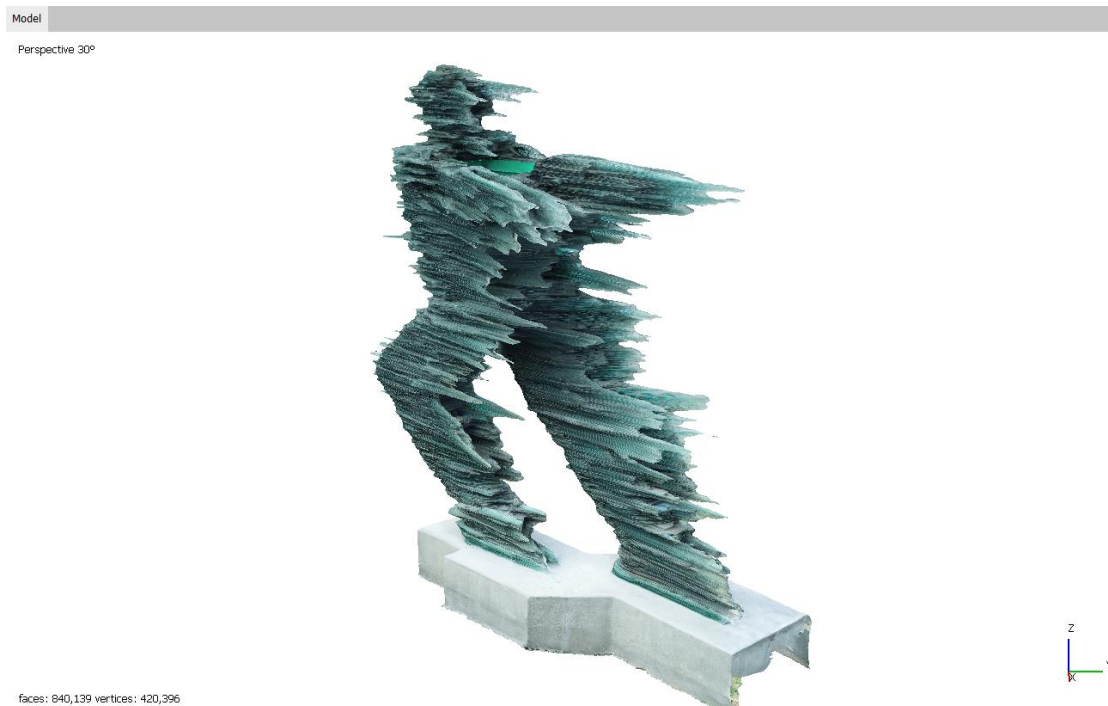
Σχήμα 3.35. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (V).



Σχήμα 3.36. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (VI).



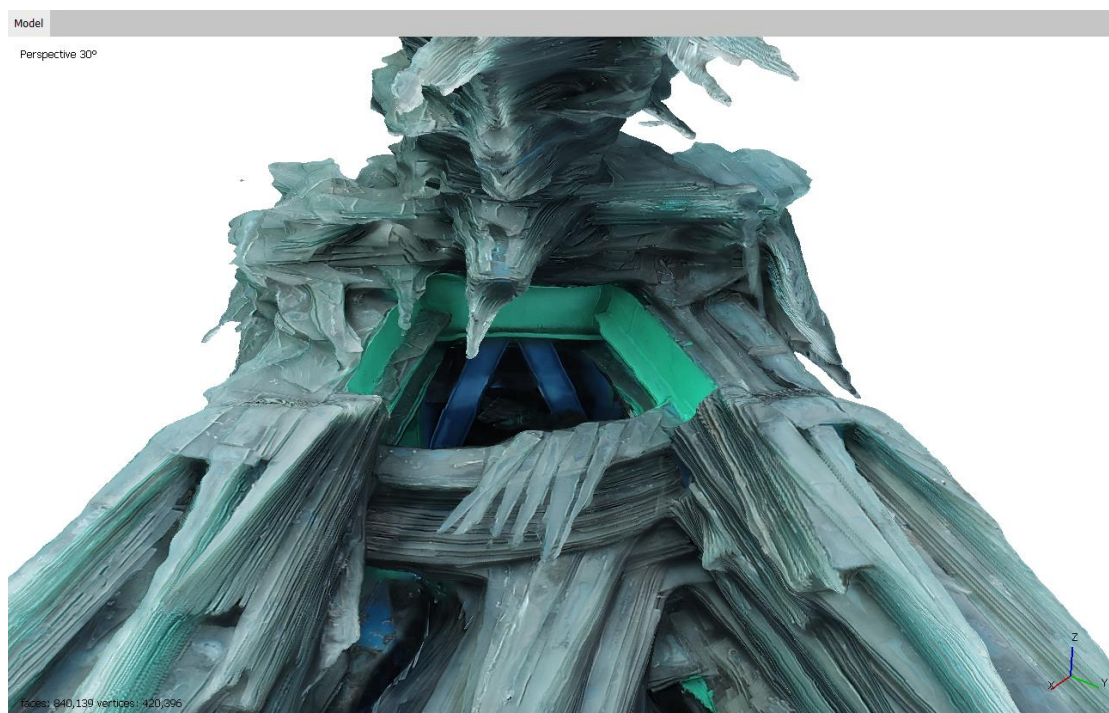
Σχήμα 3.37. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (VII).



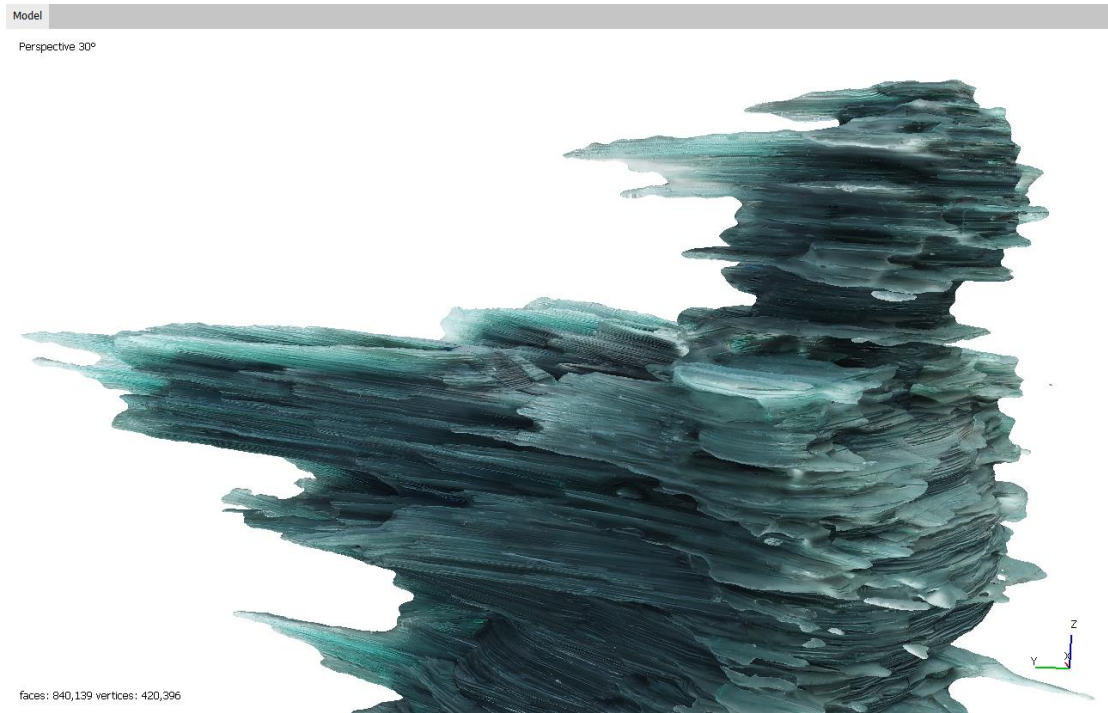
Σχήμα 3.38. Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (VIII).



Σχήμα 3.39. Λεπτομέρεια από το τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (I).



Σχήμα 3.40. Λεπτομέρεια από το τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (II).



Σχήμα 3.41. Λεπτομέρεια από το τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (III).



Σχήμα 3.42. Λεπτομέρεια από το τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού, με υφή στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) (IV).

iv. Γεωαναφορά τριδιάστατου (3D) μοντέλου

Προτού ξεκινήσει η συγκεκριμένη διαδικασία, είναι απαραίτητη η βεβαίωση της αποκατάστασης του εσωτερικού προσανατολισμού των εικόνων. Στην περίπτωση που ο εσωτερικός προσανατολισμός της κάμερας από την οποία έχουν προέλθει οι εικόνες δεν είχε αποκατασταθεί ή στην περίπτωση που οι εικόνες προέρχονταν από διαφορετικές κάμερες, το λογισμικό διαθέτει την ικανότητα αυτοβαθμονόμησης, δηλαδή αυτόματης αποκατάστασης του εσωτερικού προσανατολισμού των εικόνων κατά το στάδιο του SfM (όπως αναλύεται στο υπο-κεφάλαιο 2.3.2.2). Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως, ο εσωτερικός προσανατολισμός των καμερών είχε αποκατασταθεί σε προηγούμενο στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων.

Η διαδικασία γεωαναφοράς ενός τριδιάστατου μοντέλου, αποτελεί απαραίτητο στάδιο για την πλήρη και ορθή ανακατασκευή του. Ο όρος γεωαναφορά (όπως αναφέρεται και στο υπο-κεφάλαιο 2.3.1) αναφέρεται στη διαδικασία αποκατάστασης του εξωτερικού προσανατολισμού απλών ψηφιακών δεδομένων (π.χ. αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων, χαρτών κ.α.) με σκοπό την εξαγωγή τριδιάστατης μετρητικής πληροφορίας από το τελικό γεωαναφερμένο προϊόν ή και τον συνδυασμό του με άλλα υπάρχοντα ψηφιακά δεδομένα για ποικίλες χρήσεις. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με την σύνδεση των ψηφιακών δεδομένων με κάποιο επίγειο ή τοπικό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων [16][20].

Συγκεκριμένα, η παραπάνω διαδικασία καθίσταται δυνατή με την σκόπευση χαρακτηριστικών σημείων γνωστών συντεταγμένων στις ψηφιακές εικόνες. Τα σημεία αυτά, ονομάζονται φωτοσταθερά (ή ground control points ή GCP ή σημεία επίγειου ελέγχου) και χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία του αεροτριγωνισμού με σκοπό τόσο τη συσχέτιση των εικόνων μεταξύ τους (αν σκοπευθούν πριν την ευθυγράμμιση των εικόνων) για τη δημιουργία ενιαίου μπλοκ, όσο και για τη συσχέτιση του εκάστοτε συστήματος αναφοράς με τα ψηφιακά δεδομένα και κατ' επέκταση με το τριδιάστατο μοντέλο. Τα φωτοσταθερά σημεία κρίνεται αναγκαίο να είναι σταθερά, ορατά και ευδιάκριτα τόσο στη γήινη επιφάνεια όσο και σε μεγάλο πλήθος των εικόνων λήψης, ενώ πολλές φορές προσημαίνονται με επίγειους στόχους κατά το στάδιο συλλογής δεδομένων για την αύξηση ακρίβειας στις μετέπειτα διεργασίες [10][20].

Στη συγκεκριμένη περίπτωση για το γλυπτό του Δρομέα, η σκόπευση των φωτοσταθερών στις εικόνες λήψης πραγματοποιήθηκε σαν τελευταίο στάδιο της παραγωγής του τριδιάστατου μοντέλου του. Η απόφαση αυτή, πάρθηκε λόγω του γεγονότος ότι οι εικόνες ευθυγραμμίστηκαν όλες ορθά

(υποκεφάλαιο 3.3.3.i) και επομένως, ο λόγος ύπαρξης των φωτοσταθερών ήταν αποκλειστικά και μόνο για την γεωαναφορά του μοντέλου.

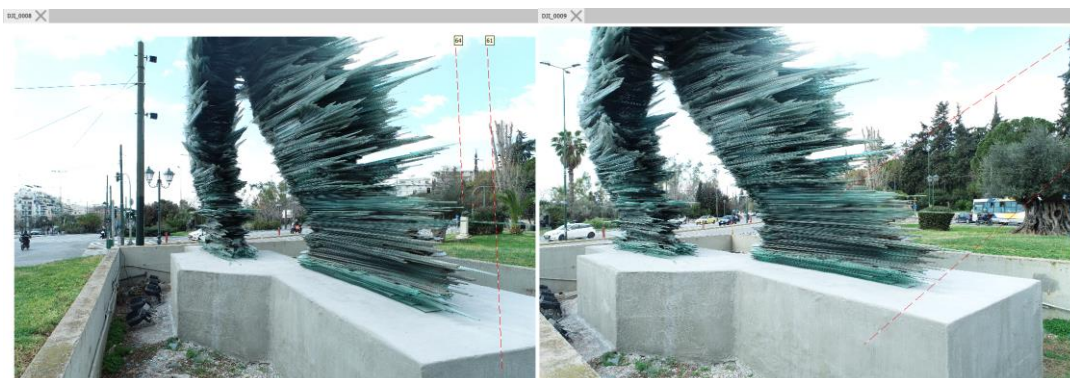
Ως φωτοσταθερά σημεία, χρησιμοποιήθηκαν τα τυχαία σημεία που μετρήθηκαν κατά το στάδιο συλλογής δεδομένων σε διάφορες θέσεις πάνω στο γλυπτό από τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Leica TCRM 1201+ (υποκεφάλαιο 3.1.), καθώς οι τριδιάστατες συντεταγμένες τους ήταν πλέον γνωστές (υποκεφάλαιο 3.2.). Ένας ακόμη λόγος χρήσης των συγκεκριμένων σημείων ως φωτοσταθερά, αποτελούσε το γεγονός ότι λόγω του υψηλού ύψους αλλά και του ιδιαίτερου σχήματος του γλυπτού, δεν ήταν δυνατή η τοποθέτηση χάρτινων προσημασμένων χάρτινων στόχων κατά το στάδιο συλλογής δεδομένων, και συνεπώς τα μόνα δεδομένα σημεία που σκοπεύτηκαν με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό ήταν τα παραπάνω.

Γενικά, ο εξωτερικός προσανατολισμός ενός στερεοζεύγους διαχωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες: στον σχετικό και στον απόλυτο προσανατολισμό. Η αποκατάσταση του σχετικού προσανατολισμού, αφορά τη διασφάλιση συνεχούς στερεοσκοπικής όρασης του στερεοζεύγους και την ορθή αναπαράσταση του σχήματος του αντικειμένου. Με την αποκατάσταση του απόλυτου προσανατολισμού, προσδιορίζεται η κατάλληλη κλίμακα (συνεπώς το μέγεθος) του αντικειμένου, αλλά επίσης και η θέση του στον χώρο.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η πλήρης αποκατάσταση του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων λήψης (και κατά συνέπεια και του τριδιάστατου μοντέλου), ήταν αναγκαίος ο εντοπισμός και η σκόπευση τουλάχιστον τριών φωτοσταθερών σημείων στις εικόνες. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η αποκατάσταση του μετασχηματισμού ομοιότητας, δηλαδή της θέσης (x,y) , της κλίμακας και του προσανατολισμού του κάθε στερεοζεύγους. Παρ' όλα αυτά, πραγματοποιήθηκε η σκόπευση παραπάνω σημείων στις εικόνες, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα σκόπευσής τους. Έτσι, για το συγκεκριμένο γλυπτό, εντοπίστηκε η θέση 6 ευδιάκριτων φωτοσταθερών σημείων με κωδικό αριθμό 60, 61, 62, 63, 64, 66 και 68 στις ακμές ορισμένων γυάλινων πλακών και σκοπεύθηκαν χειροκίνητα σε όσες εικόνες ήταν ορατά.

Γενικά, κατά τη σκόπευση του ίδιου σημείου σε 1 μόνο εικόνα που το απεικονίζει, δημιουργούνται αυτόματα από το λογισμικό ομόλογες επιπολικές ευθείες. Οι ευθείες αυτές δημιουργούνται ανάλογα με τις κλίσεις και τις στροφές της κάμερας και εμφανίζονται στις εικόνες στις οποίες το λογισμικό εντοπίζει τη θέση του σημείου που σκοπεύτηκε.

Υποδεικνύουν τη πιθανή θέση του σημείου αυτού πάνω στις εικόνες με βάση τις προηγούμενες δύο χειροκίνητες σκοπεύσεις του και είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τον επιστήμονα καθώς μειώνει το χρόνο ανίχνευσης των λεπτομερών αυτών σημείων σε κάθε εικόνα που πρόκειται να σκοπευθούν. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα απεικόνισης 2 επιπολικών ευθειών για τα σημεία με αριθμό 61 και 64 σε μια από τις διαθέσιμες εικόνες του Drone (σχήμα 3.43).



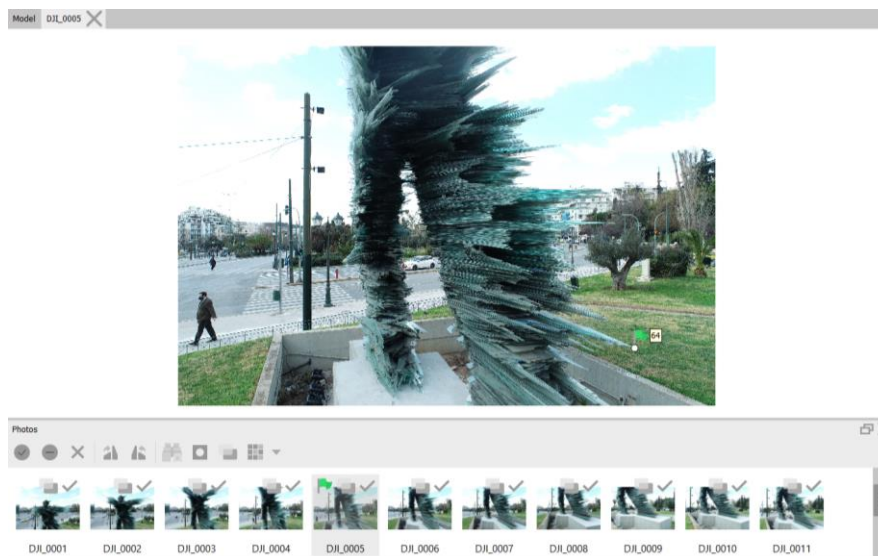
Σχήμα 3.43. Ενδεικτική απεικόνιση δύο επιπολικών ευθειών των φωτοσταθερών σημείων με αριθμό 61 και 64 σε δύο από τις εικόνες του συνόλου δεδομένων στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

Με τη σκόπευση του ίδιου σημείου σε 2 εικόνες, αποκαθίσταται η θέση, η κλίμακα και ο προσανατολισμός του, καθώς επίσης δίνεται η δυνατότητα στο λογισμικό να εντοπίζει με ικανοποιητική ακρίβεια την εκτιμώμενη θέση του σημείου αυτού πάνω σε όλες τις εικόνες που κρίνει ότι το απεικονίζουν. Στη περίπτωση αυτή, σε κάθε εικόνα που εντοπίζεται η εκτιμώμενη θέση του σημείου ενδιαφέροντος, τοποθετείται ένα άσπρο σημαιάκι στην πάνω αριστερή γωνία του (σχήμα 3.47), ενώ στις εικόνες που έχει πραγματοποιηθεί η χειροκίνητη σκόπευση του σημείου, το σημαιάκι αυτό έχει πράσινο χρώμα (σχήμα 3.45). Σε όσο περισσότερες εικόνες σκοπευθεί χειροκίνητα το φωτοσταθερό σημείο, τόσο καλύτερη η ακρίβεια σκόπευσης που επιτυγχάνεται για το κάθε σημείο. Σημαντικό βήμα αποτελεί η χειροκίνητη τοποθέτηση όλων των σημείων σε όλες τις εικόνες με άσπρα σημαιάκια που απεικονίζεται ευδιάκριτα το σημείο (και δεν κρύβεται πίσω από άλλα αντικείμενα), διότι παρόλο που η εκτιμώμενη θέση από το λογισμικό είναι συνήθως αρκετά αντιπροσωπευτική της πραγματικότητας, η τοποθέτησή τους συμβάλει στη μείωση του σφάλματος. Τέλος, προκειμένου να τοποθετηθούν όλα τα φωτοσταθερά σημεία πάνω στο μοντέλο και να συμβαδίζουν με τα υπόλοιπα 6 που σκοπεύθηκαν χειροκίνητα σε αυτό,

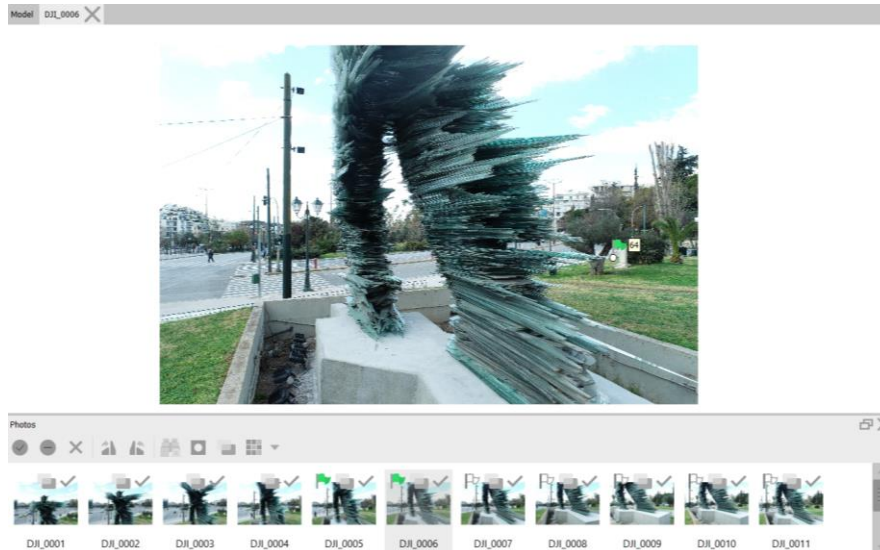
εκτελέστηκε η εντολή "Optimize". Παρακάτω, παρουσιάζονται τα σφάλματα σκόπευσης των 6 σημείων που σκοπεύθηκαν χειροκίνητα, καθώς επίσης και μερικές από τις σκοπεύσεις που πραγματοποιήθηκαν για το συγκεκριμένο γλυπτό.

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
✓ 60	111.609000	86.782000	10.912000	0.005000	0.001978	75	0.031
✓ 61	111.649000	86.878000	11.197000	0.005000	0.005742	108	0.052
✓ 62	111.181000	87.247000	11.484000	0.005000	0.004154	106	0.035
✓ 63	111.163000	86.701000	11.650000	0.005000	0.002422	119	0.043
✓ 64	110.384000	86.788000	12.225000	0.005000	0.001559	197	0.053
✓ 65	110.071000	86.559000	12.357000	0.005000		0	0.000
✓ 66	110.227000	85.909000	12.821000	0.005000	0.007871	202	0.092
✓ 67	110.162000	86.226000	13.294000	0.005000		0	0.000
✓ 68	109.496000	86.652000	13.317000	0.005000	0.004908	178	0.059

Σχήμα 3.44. Απεικόνιση των τριδιάστατων συντεταγμένων (X,Y,Z) των έξι σημείων που σκοπεύθηκαν χειροκίνητα πάνω στις εικόνες, των σφαλμάτων σκόπευσης (Error) σε m και σε pixels και του αριθμού προβολών-σκοπεύσεων που πραγματοποιήθηκαν για το καθένα (Projections), στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



Σχήμα 3.45. Χειροκίνητη τοποθέτηση του σημείου με αριθμό 64 σε μια εικόνα στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



Σχήμα 3.46. Χειροκίνητη τοποθέτηση του σημείου με αριθμό 64 σε δεύτερη εικόνα στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) και αυτόματη εκτίμηση της θέσης του σημείου σε όλες τις εικόνες που είναι ορατό (άσπρο σημαιάκι).



Σχήμα 3.47. Παραδείγματα εικόνων με την εκτιμώμενη από τον αλγόριθμο θέση του σημείου 64 (σήμανση με άσπρο σημαιάκι) στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

v. Σχολιασμός

Εκ πρώτης όψεως, το τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού του Δρομέα που προέκυψε από την παραπάνω διαδικασία (σχήματα 3.31, 3.32 και 3.33.) φαίνεται να έχει ανακατασκευαστεί ικανοποιητικά σε πολλά τμήματά του, όμως εντοπίζονται και ορισμένες αστοχίες. Συγκεκριμένα:

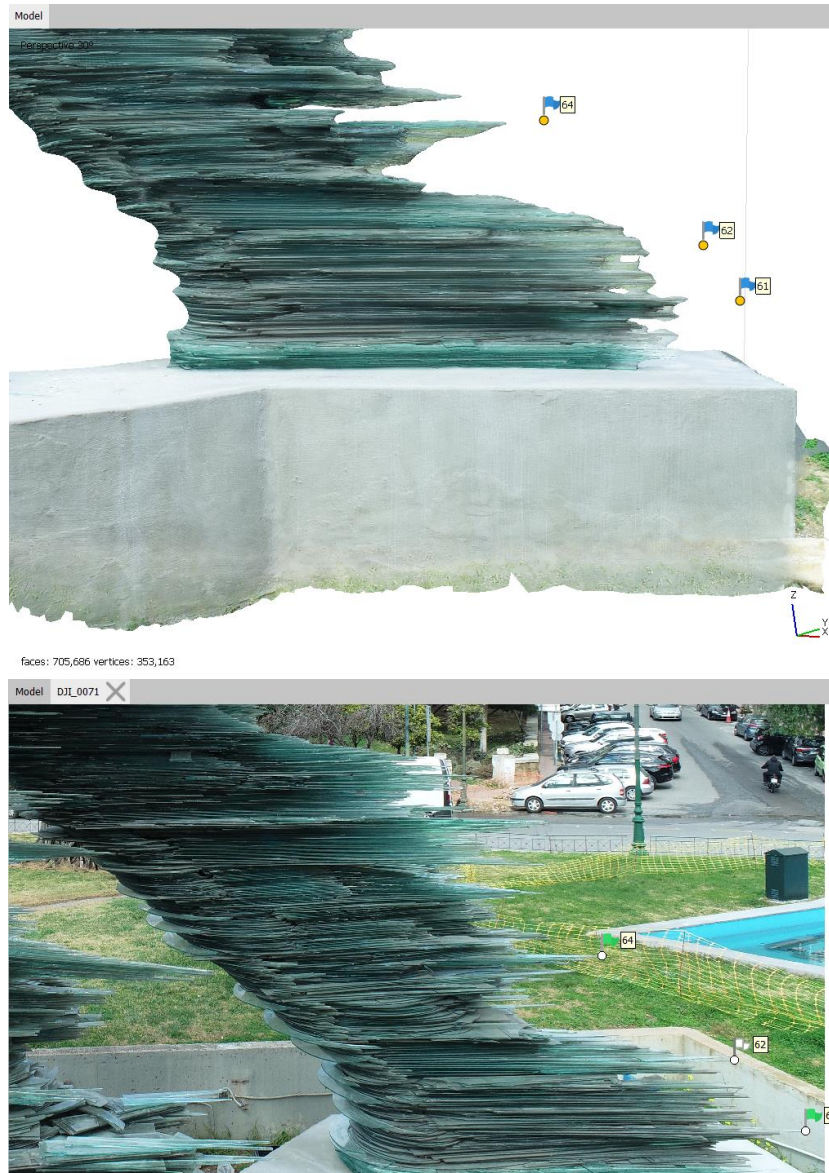
- ✓ Η υφή του γλυπτού εφαρμόστηκε επιτυχημένα στο τριδιάστατο mesh καθώς γίνεται αντιληπτή η ανακλαστική ιδιότητα του γυαλιού και οι διαχωρίσεις των επιπέδων των γυάλινων πλακών, κυρίως σε σημεία όπου αυτές ήταν πολύ πυκνά στοιβαγμένες μεταξύ τους.
- ✓ Το νότιο-δυτικό τμήμα της βάσης του γλυπτού, φαίνεται να μην έχει ανακατασκευαστεί ορθά. Το γεγονός αυτό πιθανώς να οφειλόταν στην έλλειψη επαρκούς κάλυψης της περιοχής από τις εικόνες λήψης. Επομένως, παρόλο που πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση σημείων σύνδεσης (tie points) μεμονωμένα στις εικόνες που απεικόνιζαν το τμήμα αυτό με σκοπό την υποβοήθηση του λογισμικού στον βέλτιστο εντοπισμό των τμημάτων, το αποτέλεσμα δεν ήταν και πάλι ικανοποιητικό. Δεδομένου όμως του ότι η περιοχή αυτή δεν απεικόνιζε ουσιαστική πληροφορία για το γλυπτό, δεν επηρέασε τις μετέπειτα διεργασίες.



Σχήμα 3.48. Προβληματικό τμήμα βάσης του γλυπτού στη νότιο-δυτική πλευρά του στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

- ✓ Συγκρίνοντας οπτικά το γλυπτό με το διαθέσιμο σύνολο εικόνων από το Drone, αλλά και λαμβάνοντας υπόψη την προβολή των τριών φωτοσταθερών σημείων πάνω στο τριδιάστατο μοντέλο, ήταν εμφανής η έλλειψη απόδοσης ορισμένων γυάλινων μεμονωμένων πλακών που προεξείχαν κυρίως στη βόρεια και νότια όψη του. Το γεγονός αυτό, εκτιμήθηκε ότι οφειλόταν στο ότι λόγω του λεπτού πάχους των γυάλινων αυτών πλακών, το φως του ήλιου τις διαπερνούσε προσδίδοντάς τους άσπρο χρώμα ή πολύ ανοιχτούς

τόνους αυτού κατά τη λήψη των εικόνων. Έτσι, το λογισμικό δεν κατάφερε να διαχωρίσει τα εικονοστοιχεία αυτά ως μέρη του γλυπτού κατά την διαδικασία δημιουργίας χαρτών βάθους και δεν τα κατέταξε στην ορθή τους θέση σε σχέση με την πραγματικότητα.



Σχήμα 3.49. (Επάνω) Τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού με την προβολή σε αυτό των φωτοσταθερών σημείων με αριθμούς 61, 62 και 64. (Κάτω) Εικόνα με χειροκίνητη σκόπευση επί αυτής των ίδιων φωτοσταθερών σημείων στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

Το συγκεκριμένο πρόβλημα κρίθηκε σημαντικό διότι αλλοίωσε τη γεωμετρία του πραγματικού γλυπτού κατά την τριδιάστατη αποτύπωσή του. Για τον τρόπο επίλυσής του, αποφασίστηκε η τοποθέτηση μασκών στις εικόνες κατά την εισαγωγή τους στο λογισμικό, πριν την έναρξη των υπόλοιπων διεργασιών των βημάτων 3.3.3.i έως 3.3.3.iv.

vi. Διαδικασία εισαγωγής μασκών

Ο λόγος τοποθέτησης μασκών στις εικόνες κατά την τριδιάστατη ανακατασκευή ενός γλυπτού, έχει ως σκοπό τον αποκλεισμό της περιττής πληροφορία που παραθέτουν οι εικόνες και την οριοθέτηση των λεπτομερειών του αντικειμένου.

Για το συγκεκριμένο γλυπτό, έπειτα από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων, αποφασίστηκε η τοποθέτηση μασκών στις εικόνες για τον αποκλεισμό πληροφορίας που ήταν περιττή για το γλυπτό (π.χ. ουρανός, δρόμοι) ή επηρέαζε τη γεωμετρία του γλυπτού κατά την τριδιάστατη ανακατασκευή του (π.χ. γρασίδι). Επιπλέον, τοποθετήθηκαν μάσκες για να οριοθετηθούν οι λεπτεπίλεπτες γυάλινες πλάκες του γλυπτού, οι οποίες δεν αποδόθηκαν καθόλου στο τριδιάστατο μοντέλο. Η τοποθέτηση αυτή στο συγκεκριμένο λογισμικό, πραγματοποιείται χειροκίνητα από τον χρήστη για κάθε μια από τις 615 εικόνες του συνόλου δεδομένων και συνεπώς αποτελεί μια χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία. Για τον λόγο αυτό, αποφασίστηκε η λεπτομερής οριοθέτηση περιμετρικά των γυάλινων πλακών μόνο σε ορισμένες εικόνες (συγκεκριμένα 310) και η αυθαίρετη οριοθέτηση του υπόλοιπου θορύβου, όπως του ουρανού, του δρόμου, των δέντρων κ.α.

Model DJI_0001 X

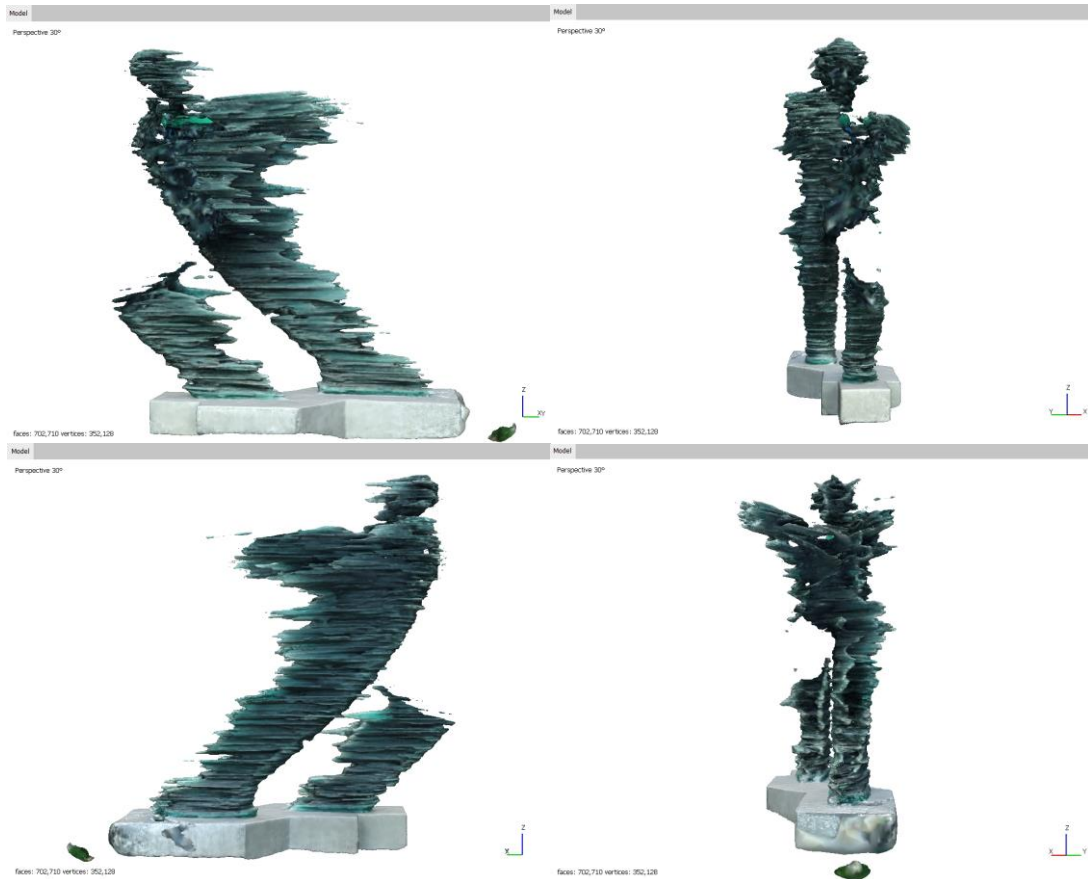


Σχήμα 3.50. Τοποθέτηση μάσκας λεπτομερώς περιμετρικά του γλυπτού, με έμφαση στη γεωμετρία του στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



Σχήμα 3.51. Τοποθέτηση μάσκας αυθαίρετα περιμετρικά του γλυπτού, με έμφαση στην απόκλιση της πληροφορίας που δεν έχει άμεση σχέση με το γλυπτό στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

Όλες οι εικόνες του Drone τοποθετήθηκαν σε ένα καινούργιο chunk στο λογισμικό Agisoft Metashape και εφαρμόστηκαν οι 310 μάσκες στις αντίστοιχες εικόνες με εισαγωγή τους (import) στο λογισμικό. Στη συνέχεια ακολουθήθηκαν τα ίδια βήματα (i-iv) του ίδιου υπο-κεφαλαίου (3.3.3) με τις ίδιες ακριβώς ρυθμίσεις για την τριδιάστατη ανακατασκευή του γλυπτού. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής δεν ήταν το επιθυμητό, καθώς παρόλο που στα στάδια της πολυεικονικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν όλες οι διαθέσιμες εικόνες του Drone (620 μετά την απομάκρυνση ορισμένων από το σύνολο λόγω έντονων διαφορών στην φωτεινότητα συγκριτικά με τις υπόλοιπες), το τελικό μοντέλο είχε πολλές οπές και ελλείψεις. Το γεγονός αυτό πιθανώς οφειλόταν στον τρόπο και στις παραμέτρους με τις οποίες λειτουργεί ο αλγόριθμος και έτσι να εστίασε στη χρήση κυρίως τμημάτων που βρίσκονταν εντός της οριοθετημένης περιοχής των масκών.



Σχήμα 3.52. Απεικόνιση του τριδιάστατου μοντέλου με την εφαρμογή μασκών σε ορισμένες εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανακατασκευή του, στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

Έτσι, επιλέχθηκε το ψηφιακό μοντέλο που δημιουργήθηκε από την χρήση όλων των εικόνων του Drone ως το βέλτιστο τριδιάστατο ψηφιακό μοντέλο από την ανακατασκευή μέσω εικόνων Drone και με την χρήση του λογισμικού Agisoft Metashape (Pro).

3.3.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων

Στο παρόν υποκεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε ο σχολιασμός και η σύγκριση των αποτελεσμάτων των τριδιάστατων μοντέλων με τους δύο διαφορετικούς τρόπους παραγωγής τους, όπως αναλύθηκαν στα υποκεφάλαια 3.3.2. και 3.3.3. Τα δύο μοντέλα, εξετάστηκαν με βάση την εξωτερική και εσωτερική τους ακρίβεια και στο τέλος, επιλέχθηκε το βέλτιστο για την αξιοποίησή του σε περαιτέρω έργα.

Με τον όρο ακρίβεια, ορίζεται η έννοια που αναφέρεται στο πόσο πλησιάζουν μεταξύ τους οι μετρήσεις που έγιναν [17]. Σε ότι αφορά τη σχέση του όρου "ακρίβεια" με την ανακατασκευή τριδιάστατων

αντικείμενων και την σύγκριση τόσο μεταξύ τους όσο και με την πραγματικότητα, ως εξωτερική ακρίβεια ορίζεται το ποσοστό οπτικής-εξωτερικής ομοιότητας του ψηφιακού αντικειμένου με το πραγματικό, ενώ ως εσωτερική ακρίβεια ανάμεσα σε δύο ψηφιακά αντικείμενα ορίζεται η μετρητική διαφορά της γεωμετρίας τους.

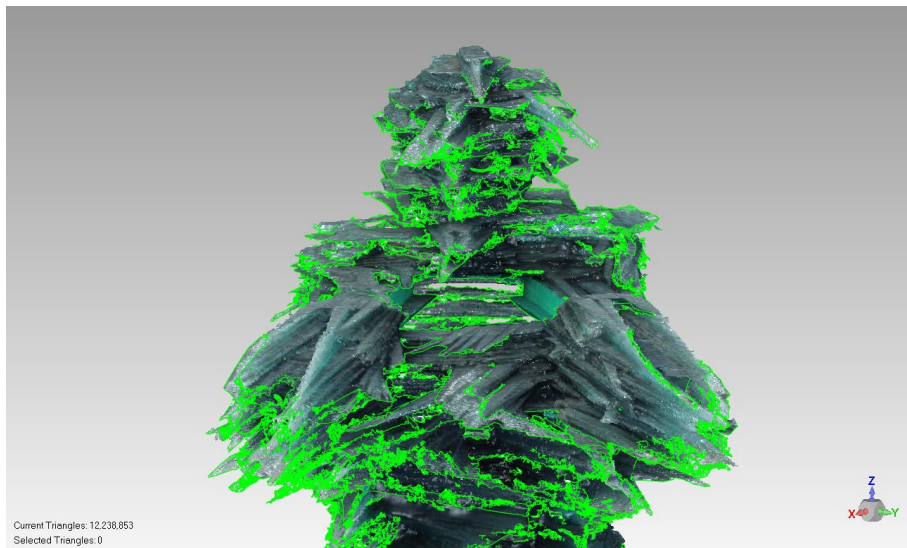
3.3.4.1. Εξωτερική ακρίβεια

Για το τριδιάστατο μοντέλο που προήλθε από το νέφος σημείων του laser scanner και την επεξεργασία στο λογισμικό Geomagic Wrap (σχήματα 3.14 έως 3.17):

- ✓ Κατά τις χειροκίνητες και αυτόματες διαδικασίες επεξεργασίας του πλέγματος (mesh) για την διόρθωση των ατελειών (υποκεφάλαιο 3.3.2.ii), παρόλο που διορθώθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό η γεωμετρία των γυάλινων πλακών και εξαλείφθηκε μεγάλο μέρος του περιττού θορύβου, υπήρχαν ακόμη πολλές έντονες ακμές, οπές, ανεστραμμένα τρίγωνα κ.α. τα οποία λόγω του μεγέθους και της πολυπλοκότητας του γλυπτού, ήταν αδύνατο να διορθωθούν σε ιδανικό επίπεδο. Έτσι, το τελικό μοντέλο απείχε οπτικά σε ορισμένα τμήματά του από την πραγματικότητα, διότι περιείχε διαφόρων ειδών ατέλειες και σφάλματα.
- ✓ Στη βόρεια πλευρά του γλυπτού και εσωτερικά των γυάλινων πλακών, διαφαίνεται στις φωτογραφίες που έχουν ληφθεί από το Drone ο σιδερένιος σκελετός του. Στο τριδιάστατο μοντέλο από τα σημεία του laser scanner, στην θέση αυτή δεν έχει αποδοθεί ένα μεγάλο τμήμα του σιδερένιου σκελετού. Το γεγονός αυτό πιθανώς να οφείλεται στις διαφορές φωτεινότητας και εντάσεων των συγκεκριμένων χρωμάτων στις φωτογραφίες ή στο ότι δεν είχαν συμπεριληφθεί όλες οι φωτογραφίες που απεικόνιζαν την βόρεια μεριά του γλυπτού στο λογισμικό Metashape κατά την διαδικασία παραγωγής του νέφους σημείων για το μέρος του γλυπτού με υψόμετρο μεγαλύτερο από αυτό που μπορούσε να φτάσει η ακτίνα laser με σκοπό να ενσωματωθεί με το υπόλοιπο πυκνό νέφος σημείων από το laser scanner (όπως αναλύθηκε στο υποκεφάλαιο 3.2).



Σχήμα 3.53. Αεροφωτογραφία που απεικονίζει την βόρεια όψη του γλυπτού και συγκεκριμένα τον σιδερένιο κορμό που διαθέτει στο εσωτερικό του.



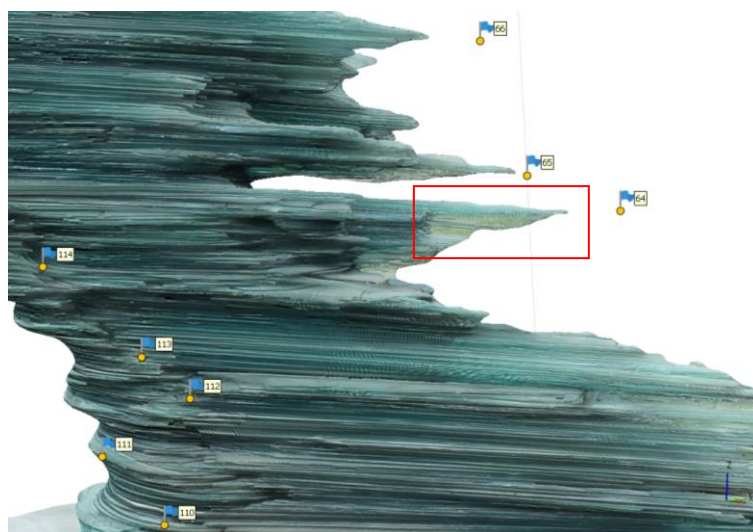
Σχήμα 3.54. Απεικόνιση του τριδιάστατου μοντέλου υπό παρόμοια οπτική γωνία της ίδιας όψης του σχήματος 3.53, στο περιβάλλον Geomagic Wrap.

- ✓ Όπως αναλύθηκε στο υποκεφάλαιο 3.3.2, στο συγκεκριμένο μοντέλο δεν έχει αποδοθεί υφή αλλά μόνο ο χρωματισμός των εικονοψηφίων, κάτι το οποίο κρίνεται απαραίτητο ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη λεπτομέρεια, αντίθεση και βάθος κατά την οπτικοποίησή του καθώς και ομοιότητα του ψηφιακού γλυπτού με την πραγματικότητα.
- ✓ Όπως αναλύθηκε στο τέλος του υπο-κεφαλαίου 3.3.2, κατά την οπτικοποίηση του μοντέλου από διαφορετικά λογισμικά,

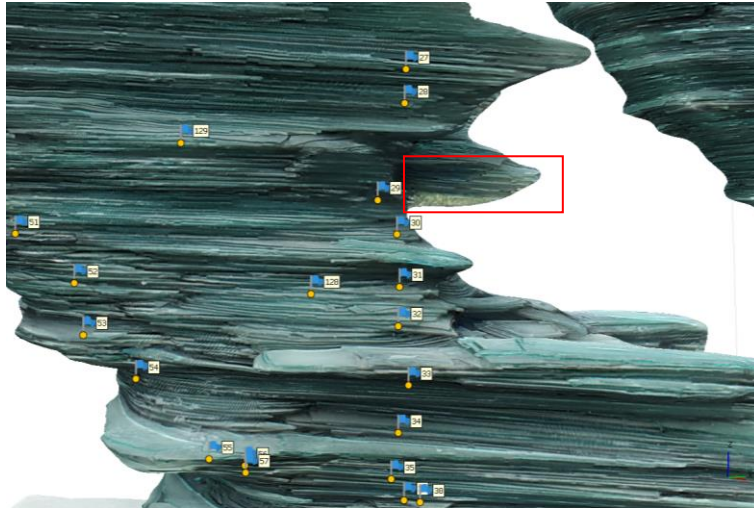
εμφανίζονται μαύρες επιφάνειες σε όλη του την επιφάνεια, κάτι το οποίο υποδεικνύει πως οι επιφάνειες αυτές αναγνωρίζονται ως ανεστραμμένες και όχι κανονικές (σχήμα 3.20).

Για το τριδιάστατο μοντέλο που προήλθε από τις αεροφωτογραφίες του Drone και την επεξεργασία στο λογισμικό Agisoft Metashape (Pro) (σχήματα 3.31 και 3.42):

- ✓ Από την οπτική παρατήρηση του τριδιάστατου μοντέλου αυτού, γίνεται αντιληπτό πως ο εσωτερικό σιδερένιος κορμός στη βόρεια πλευρά του γλυπτού, ο οποίος δεν είχε αποδοθεί στο προηγούμενο μοντέλο (σχήμα 3.19), έχει αποδοθεί ορθά (σχήμα 3.40).
- ✓ Σε σημεία όπου οι γυάλινες πλάκες έχουν μεταξύ τους μικρή απόσταση, κυρίως κατά μήκος των απολήξεων του γλυπτού, έχει αποδοθεί σε τριδιάστατη επιφάνεια στο μοντέλο ο θόρυβος που βρίσκεται ανάμεσά τους. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στη παρόμοια φωτεινότητα και ένταση των αποχρώσεων του θορύβου με μερικές από τις επιφάνειες του γυαλιού ή στην ακρίβεια διαχωρισμού των εικονοστοιχείων την οποία μπορούσε να εντοπίσει ο αλγόριθμος. Έγινε προσπάθεια επίλυσης του συγκεκριμένου θέματος μέσω της χρήσης масκών στις αρχικές εικόνες, όπως περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 3.3.3.νι, όμως ήταν ανεπιτυχής. Μερικά παραδείγματα αυτών των σημείων στο μοντέλο παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα (3.55 και 3.56).

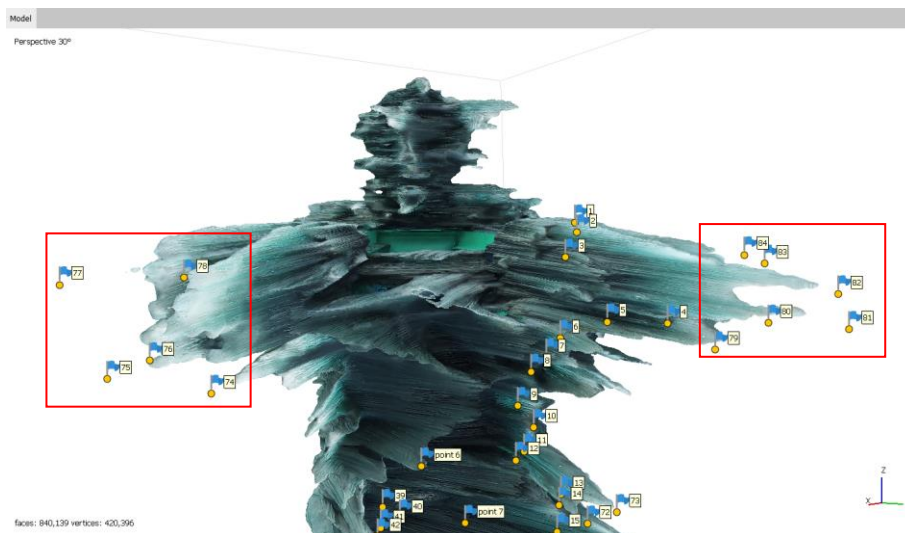


Σχήμα 3.55. Ενδεικτική απεικόνιση (I) στιγμιότυπου οθόνης του τριδιάστατου μοντέλου στο οποίο διακρίνεται το γρασίδι στον κενό χώρο ανάμεσα στις γυάλινες πλάκες, στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



Σχήμα 3.56. Ενδεικτική απεικόνιση (II) στιγμιότυπου οθόνης του τριδιάστατου μοντέλου στο οποίο διακρίνεται το γρασίδι στον κενό χώρο ανάμεσα στις γυάλινες πλάκες, στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

- ✓ Τόσο από την οπτική παρατήρηση αλλά και από τη θέση που τοποθετήθηκαν ορισμένα φωτοσταθερά σημεία πάνω στο μοντέλο κατά το στάδιο της γεωαναφοράς, γίνεται άμεσα αντιληπτή η γεωμετρική αδυναμία του μοντέλου. Στις περισσότερες γυάλινες πλάκες φαίνεται πως έχει μειωθεί το μήκος τους, καθώς επίσης σε αρκετά σημεία δεν έχουν αποδοθεί καν οι σωστές μικρές και λεπτές γυάλινες πλάκες που υπάρχουν στην πραγματικότητα στη θέση αυτή στο γλυπτό ή ακόμη ορισμένες εμφανίζονται θολωμένες και με ανακρίβεια ως προς το σχήμα τους και τις αποχρώσεις τους, όπως παρουσιάζεται ενδεικτικά στα παρακάτω σχήματα 3.57 και 3.58.



Σχήμα 3.57. Απεικόνιση (I) ενδεικτικών αιωρούμενων φωτοσταθερών σημείων σε θέσεις όπου θα έπρεπε να έχουν αποδοθεί λεπτές γυάλινες πλάκες, στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



Σχήμα 3.58. Απεικόνιση (II) ενδεικτικών αιωρούμενων φωτοσταθερών σημείων σε θέσεις όπου θα έπρεπε να έχουν αποδοθεί λεπτές γυάλινες πλάκες, στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

- ✓ Η βόρεια όψη της βάσης στην οποία στηρίζεται το γλυπτό, φαίνεται πως δεν έχει αποδοθεί στο τριδιάστατο μοντέλο λόγω της αδυναμίας κάλυψης της περιοχής αυτής από τις υπάρχουσες φωτογραφίες που πάρθηκαν από το Drone. Για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος, έγινε δοκιμαστική τοποθέτηση σημείων σύνδεσης χειροκίνητα σε χαρακτηριστικά σημεία στις φωτογραφίες που απεικόνιζαν έστω και μερικώς στην πλευρά αυτή της βάσης. Σκοπός ήταν η υποβοήθηση του προσανατολισμού των φωτογραφιών κατά του στάδιο ευθυγράμμισης των εικόνων (align) και στη συνέχεια η δημιουργία περισσότερων σημείων στο νέφος που να αντιστοιχούν στην συγκεκριμένη περιοχή. Το εγχείρημα όμως αυτό δεν ήταν επιτυχές διότι η έλλειψη φωτογραφιών που απεικονίζουν επαρκώς την περιοχή αυτή της βάσης απέτρεψε τη δημιουργία ενός καλύτερου αποτελέσματος.



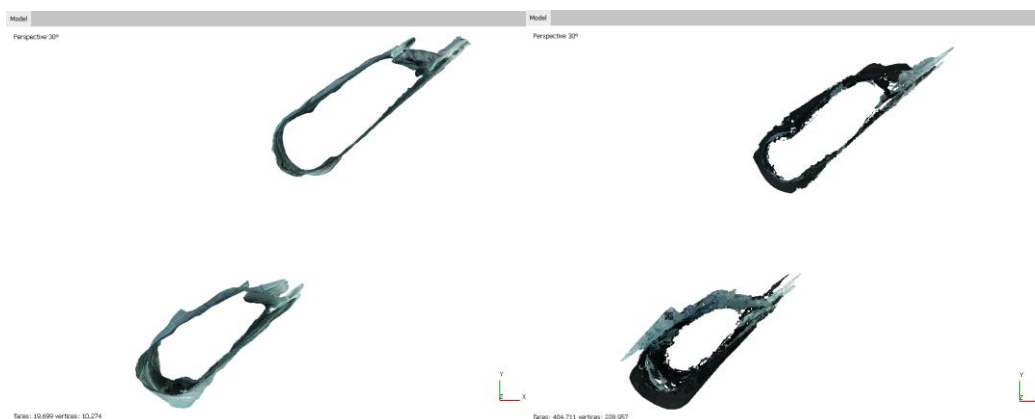
Σχήμα 3.59. Απεικόνιση της βόρειας και προβληματικής όψης της βάσης του γλυπτού, στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

- ✓ Η υφή του γλυπτού έχει αποδοθεί πετυχημένα τόσο στις γυάλινες πλάκες από τις οποίες απαρτίζεται όσο και στις υπόλοιπες όψεις της βάσης του και έτσι μπορούν να διακριθούν με ευκολία λεπτομέρειες στο γλυπτό όπως το συνδετικό υλικό ανάμεσα στις πλάκες (με την κατάλληλη μεγέθυνση σε ορισμένα τμήματά του).

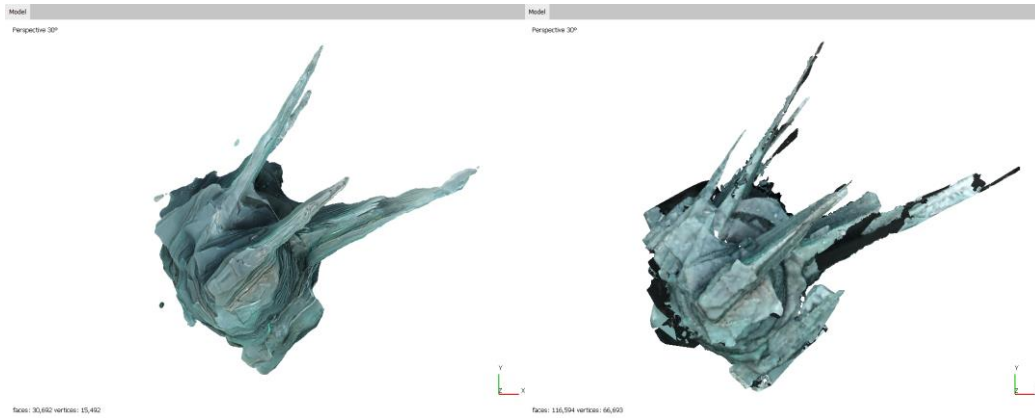
3.3.4.2. Εσωτερική ακρίβεια

Η σύγκριση της γεωμετρίας των δύο ψηφιακών μοντέλων πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού CIVIL 3D (2023). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

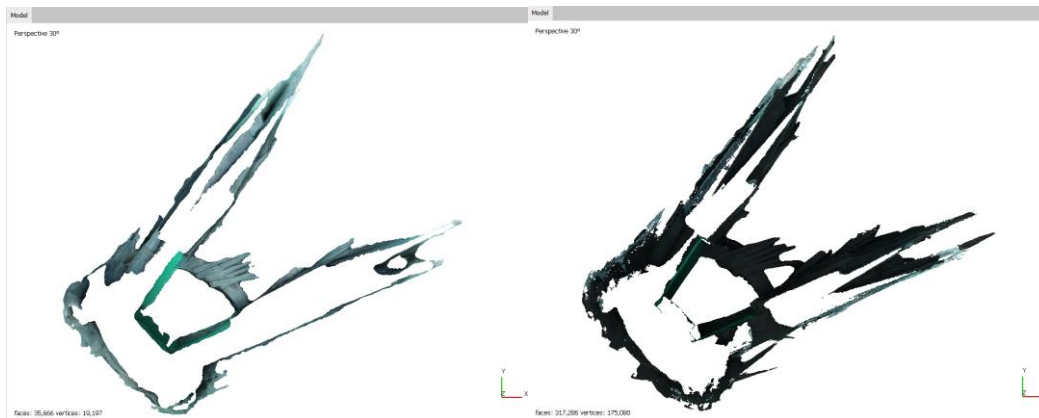
- 1) Από το κάθε τριδιάστατο μοντέλο που δημιουργήθηκαν στα λογισμικά Agisoft Metashape και Geomagic Wrap, λήφθηκε από ένα στιγμιότυπο οθόνης που απεικόνιζε ένα συγκεκριμένο τμήμα του γλυπτού. Τα πάχη των τμημάτων ήταν της τάξης των 30 εκατοστών και επιλέχθηκαν σημεία των μοντέλων στα οποία παρατηρούνταν διαφορές στη γεωμετρία τους. Ειδικότερα, επιλέχθηκε να συγκριθεί το τμήμα της τομής που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή των χεριών και αποτυπώθηκε σε ψηφιακό σχέδιο (κεφάλαιο 4) του βέλτιστου μοντέλου (δηλαδή από το Agisoft Metashape) με το ίδιο τμήμα στο μοντέλο του Geomagic Wrap. Επιπλέον, συγκρίθηκαν άλλα δύο τμήματα του γλυπτού (στα πόδια και στο κεφάλι), στα οποία παρατηρήθηκαν οπτικές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους. Σημειώνεται πως στο τμήμα του κεφαλιού το πάχος κυμαινόταν από 60 έως 80 περίπου εκατοστά έτσι ώστε να μην διαγραφούν πολύτιμες πληροφορίες.



Σχήμα 3.60. Απεικόνιση υποβάθρου του 1^{ου} τμήματος (στα πόδια), που χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση της εσωτερικής ακρίβειας από το μοντέλο των αεροφωτογραφιών (αριστερά) και από το μοντέλο του laser scanner (δεξιά), στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



Σχήμα 3.61. Απεικόνιση του υποβάθρου του 2^{ου} τμήματος (στο κεφάλι), που χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση της εσωτερικής ακρίβειας από το μοντέλο των αεροφωτογραφιών (αριστερά) και από το μοντέλο του laser scanner (δεξιά), στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



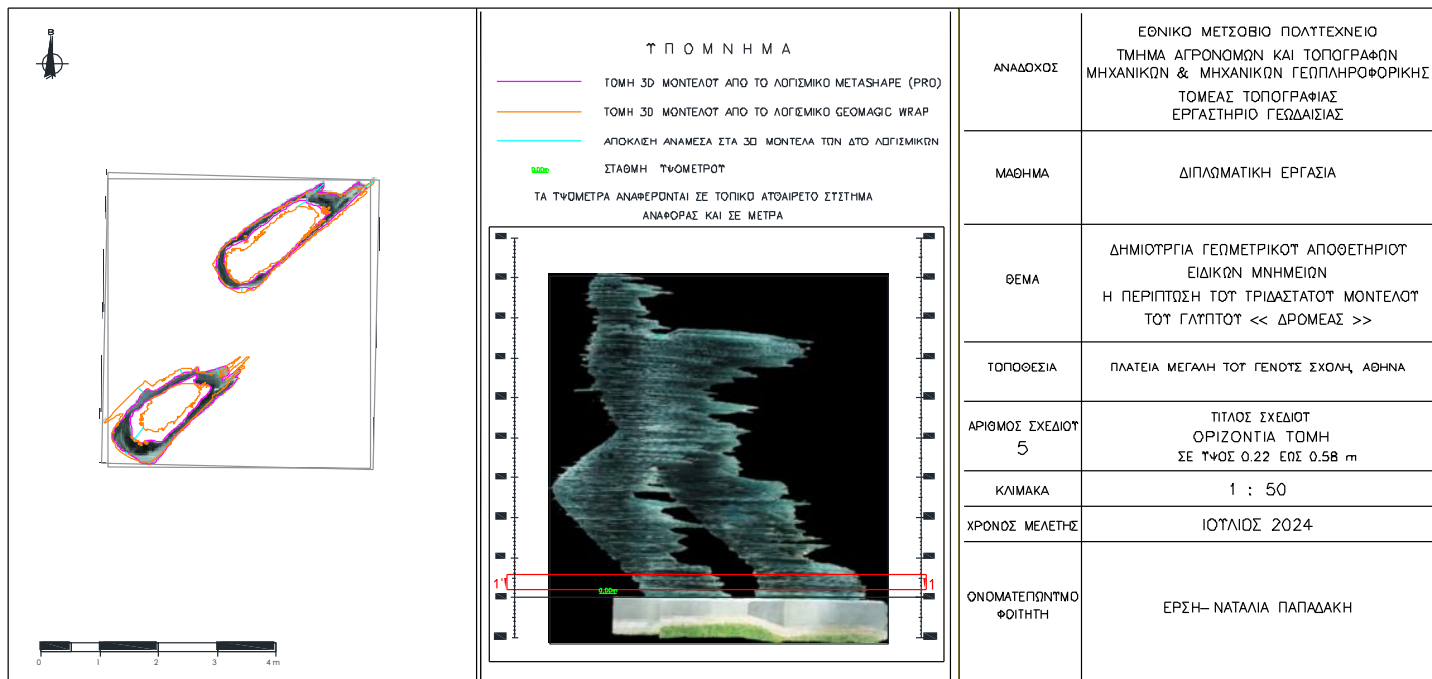
Σχήμα 3.62. Απεικόνιση του υποβάθρου του τμήματος της 1^{ης} τομής (στα χέρια), που χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση της εσωτερικής ακρίβειας από το μοντέλο των αεροφωτογραφιών (αριστερά) και από το μοντέλο του laser scanner (δεξιά), στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

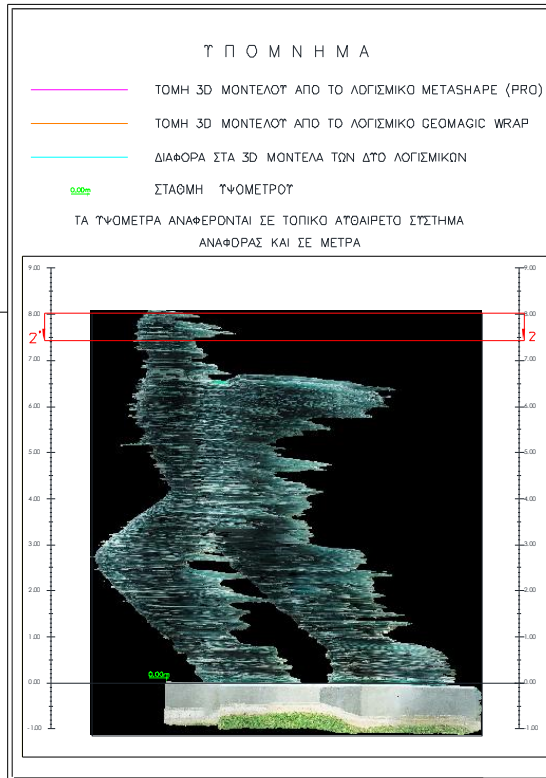
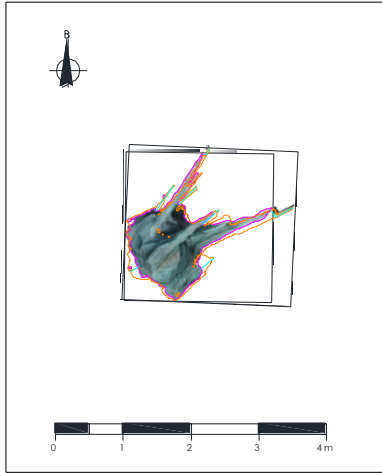
- 2) Στο περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro) τοποθετήθηκαν πάνω στο ψηφιακό μοντέλο χειροκίνητα δύο νέα σημεία-markers τα οποία έλαβαν στις σωστές τοπικές συντεταγμένες στις οποίες βρισκόταν το ήδη γεωαναφερμένο μοντέλο που δημιουργήθηκε στο λογισμικό αυτό. Τα σημεία αυτά τοποθετήθηκαν σε ευδιάκριτα σημεία και ακμές πάνω στο μοντέλο και θα αποτελέσουν οδηγό για την ορθή τοποθέτηση στο τοπικό σύστημα αναφοράς των στιγμιότυπων οθόνης στο λογισμικό CIVIL 3D 2023.
- 3) Οι τριδιάστατες (x,y,z) συντεταγμένες αυτές των δύο νέων σημείων (τα οποία ονομάστηκαν 444 και 555) μεταφέρθηκαν σε ένα αρχείο τύπου .txt. Στη συνέχεια, στο λογισμικό CIVIL 3D 2023

πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των δύο σημείων αυτών και των δύο στιγμιότυπων οθόνης που απεικόνιζαν το ίδιο τμήμα του γλυπτού αλλά ανακατασκευασμένο σε διαφορετικά λογισμικά και με διαφορετικά πρωτογενή δεδομένα. Με την εντολή Align, αντιστοιχήθηκαν χειροκίνητα τα δύο σημεία με την θέση τους πάνω σε κάθε ένα από τα στιγμιότυπα οθόνης των δύο ψηφιακών μοντέλων και έτσι αποκαταστάθηκε η γεωαναφορά τους.

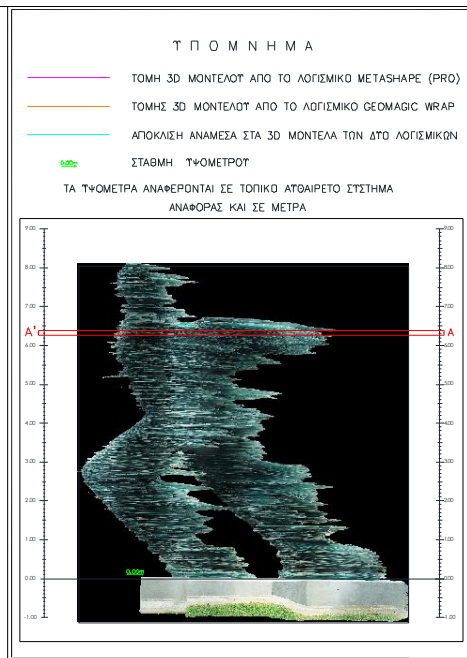
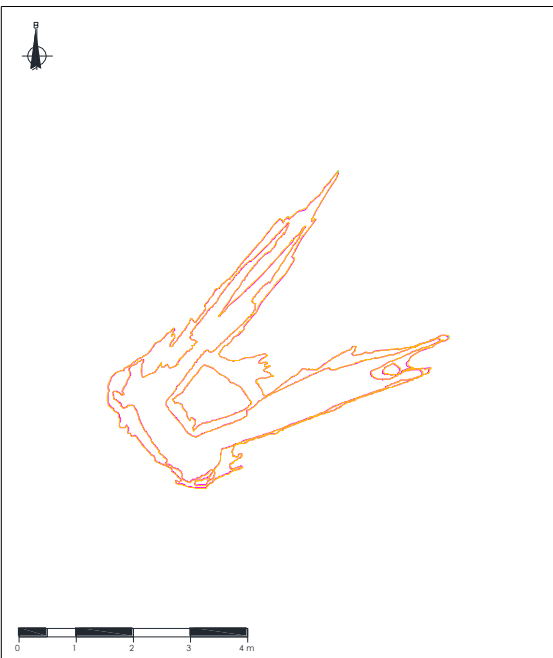
4) Σε διαφορετικά layers και με διαφορετική χρωματική παλέτα για την καλύτερη οπτικοποίησή τους μέσα στο λογισμικό, πραγματοποιήθηκε η χειροκίνητη ψηφιοποίηση του περιγράμματος των παραπάνω τμημάτων του γλυπτού.

5) Τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτής είναι τα εξής:





ΑΝΑΔΟΧΟΣ	ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ
ΜΑΘΗΜΑ	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΘΕΜΑ	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΑΠΟΘΕΤΗΡΙΟΥ ΕΙΔΙΚΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΤΡΙΔΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΓΛΥΠΤΟΥ << ΔΡΟΜΕΑΣ >>
ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΠΛΑΤΕΙΑ ΜΕΓΑΛΗ ΤΟΥ ΓΕΝΟΥΣ ΣΧΟΛΗ, ΑΘΗΝΑ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ	ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΤΟΜΗ ΣΕ ΤΥΟΣ 7.43 ΕΩΣ 8.02 m
ΚΛΙΜΑΚΑ	1 : 50
ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ 2024
ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ	ΕΡΣΗ-ΝΑΤΑΛΙΑ ΠΑΠΑΔΑΚΗ



ΑΝΑΔΟΧΟΣ	ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ
ΜΑΘΗΜΑ	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΘΕΜΑ	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΑΠΟΘΕΤΗΡΙΟΥ ΕΙΔΙΚΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΤΡΙΔΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΓΛΥΠΤΟΥ << ΔΡΟΜΕΑΣ >>
ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΠΛΑΤΕΙΑ ΜΕΓΑΛΗ ΤΟΥ ΓΕΝΟΥΣ ΣΧΟΛΗ, ΑΘΗΝΑ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ	ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΤΟΜΗ ΣΕ ΤΥΟΣ 6.26 ΕΩΣ 6.38 m
ΚΛΙΜΑΚΑ	1 : 50
ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ 2024
ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ	ΕΡΣΗ-ΝΑΤΑΛΙΑ ΠΑΠΑΔΑΚΗ

Από τα παραπάνω σχέδια, γίνονται αντιληπτές οι εξής αποκλίσεις:

N/o σχεδίου	Αποκλίσεις τομών σε μέτρα							
5	0.089	0.103	0.105	0.127	0.206	0.210	0.223	0.263
6	0.102	0.145	0.245	0.296	0.337	0.375	0.462	
7	0.024	0.025						

Πίνακας 3.3. Απεικόνιση των αποκλίσεων ανάμεσα στις τομές του μοντέλου από το Geomagic και του μοντέλου από το Metashape.

Τέλος, από την παραπάνω ανάλυση τόσο της εσωτερικής όσο και της εξωτερικής ακρίβειας των δύο τριδιάστατων ψηφιακών μοντέλων για το γλυπτό του Δρομέα, επιλέχθηκε το 2^ο ως βέλτιστο, του οποίου η δημιουργία αναλύθηκε στο υπο-κεφάλαιο 3.3.3. Συνεπώς, το μοντέλο που δημιουργήθηκε με δεδομένα τις φωτογραφίες του Drone και η επεξεργασία του πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Metashape της εταιρείας Agisoft, το οποίο απεικονίζεται στα σχήματα με αριθμό από 3.31 έως 3.42.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΜΩΝ ΤΟΥ ΓΛΥΠΤΟΥ

4.1. Εισαγωγή

Οι τομές, αποτελούν έναν από τους βασικότερους τύπους 2D σχεδίων μαζί με τις κατόψεις, τα αξονομετρικά και προοπτικά σχέδια καθώς και τα αυτοσχέδια υπαίθρου. Τα σχέδια αυτά περιλαμβάνονται στις τελικές δημοσιεύσεις ανασκαφών, στα παραδοτέα σχέδια με την ολοκλήρωση κατασκευής ενός κτηρίου κ.α. Συγκεκριμένα, τα σχέδια τομών αποδίδουν σημεία λεπτομέρειας ενός αντικειμένου ενδιαφέροντος (κτήριο, μνημείο, γλυπτό, κτλ.), μετατρέπουν τις μη ορατές ακμές σε ορατές αποκαλύπτοντας τον εσωτερικό του χώρο και η ύπαρξή τους είναι απαραίτητη για την γεωμετρική τεκμηρίωση τους καθώς και την παρατήρηση αλλαγών και μετακινήσεων στη διάρκεια του χρόνου με συγκρίσεις και ελέγχους των παλαιών με τα νέα σχέδια [4][6].

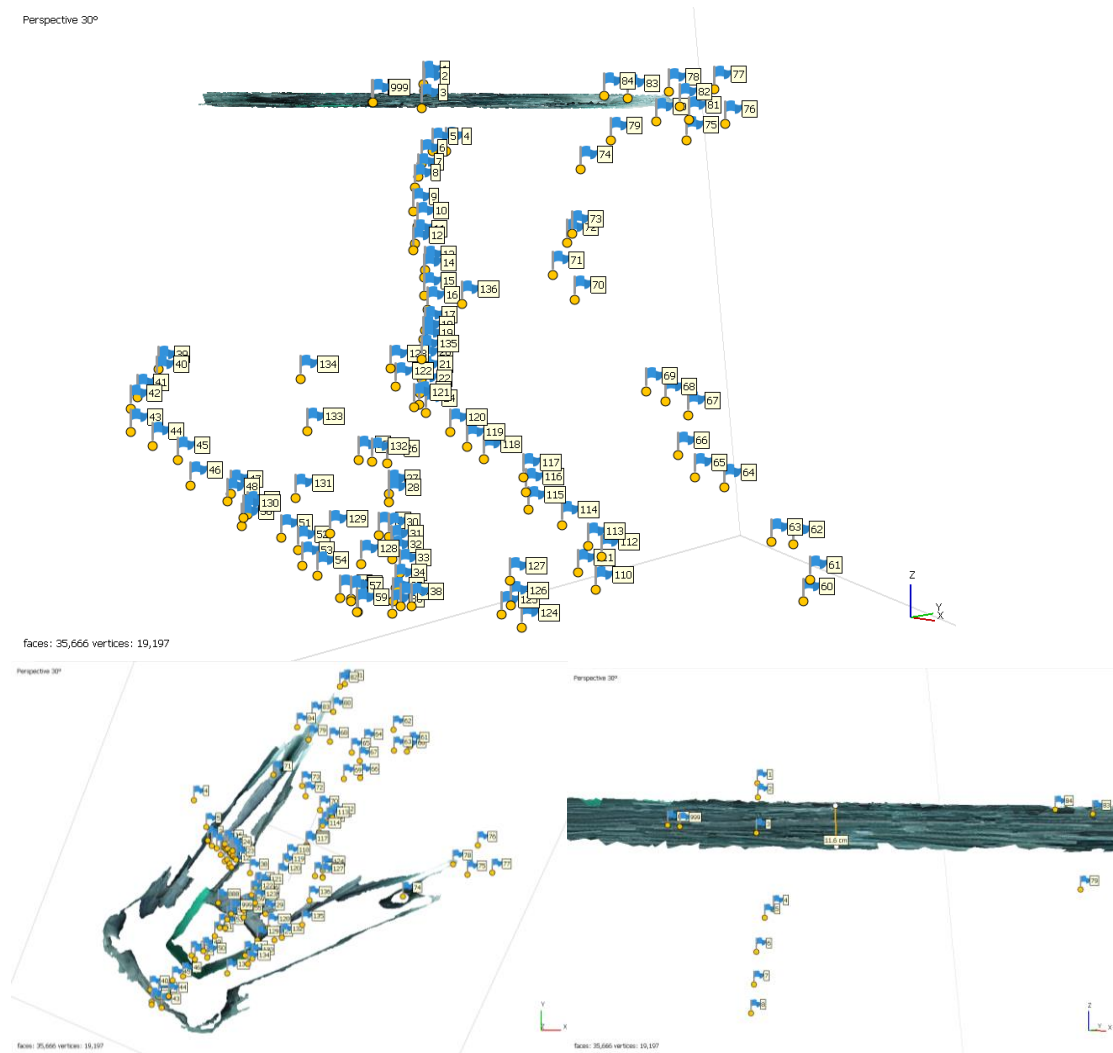
Για τη διαδικασία παραγωγής των ψηφιακών σχεδίων που απεικονίζουν τις τομές του τριδιάστατου γλυπτού του Δρομέα, αξιοποιήθηκαν τα λογισμικά Metashape της εταιρείας Agisoft και CIVIL 3D (2023) της εταιρείας Autodesk.

Στα τελικά σχέδια που παράχθηκαν, απεικονίζονταν 3 εγκάρσιες τομές του γλυπτού και 1 τομή κατά μήκος του. Εγκάρσια, ονομάζεται η τομή της οποίας ο άξονας είναι κάθετος ως προς τον άξονα του μήκους ενός αντικειμένου. Τα επίπεδα των 3^{ων} εγκάρσιων τομών αποφασίστηκε να διέρχονται από τα χέρια, την μέση και τα γόνατα του γλυπτού αντίστοιχα. Η επιλογή του αριθμού των σχεδίων και της θέσης των επιπέδων των τομών, βασίστηκε στο ότι κρίθηκε σημαντική η ύπαρξη ενός σχεδίου τομής για κάθε τμήμα του γλυπτού, ενώ παράλληλα στα επίπεδα αυτά, παρατηρήθηκαν πλάκες μεγαλύτερου μήκους που ήταν επιθυμητό να αποδοθεί η γεωμετρία τους ψηφιακά.

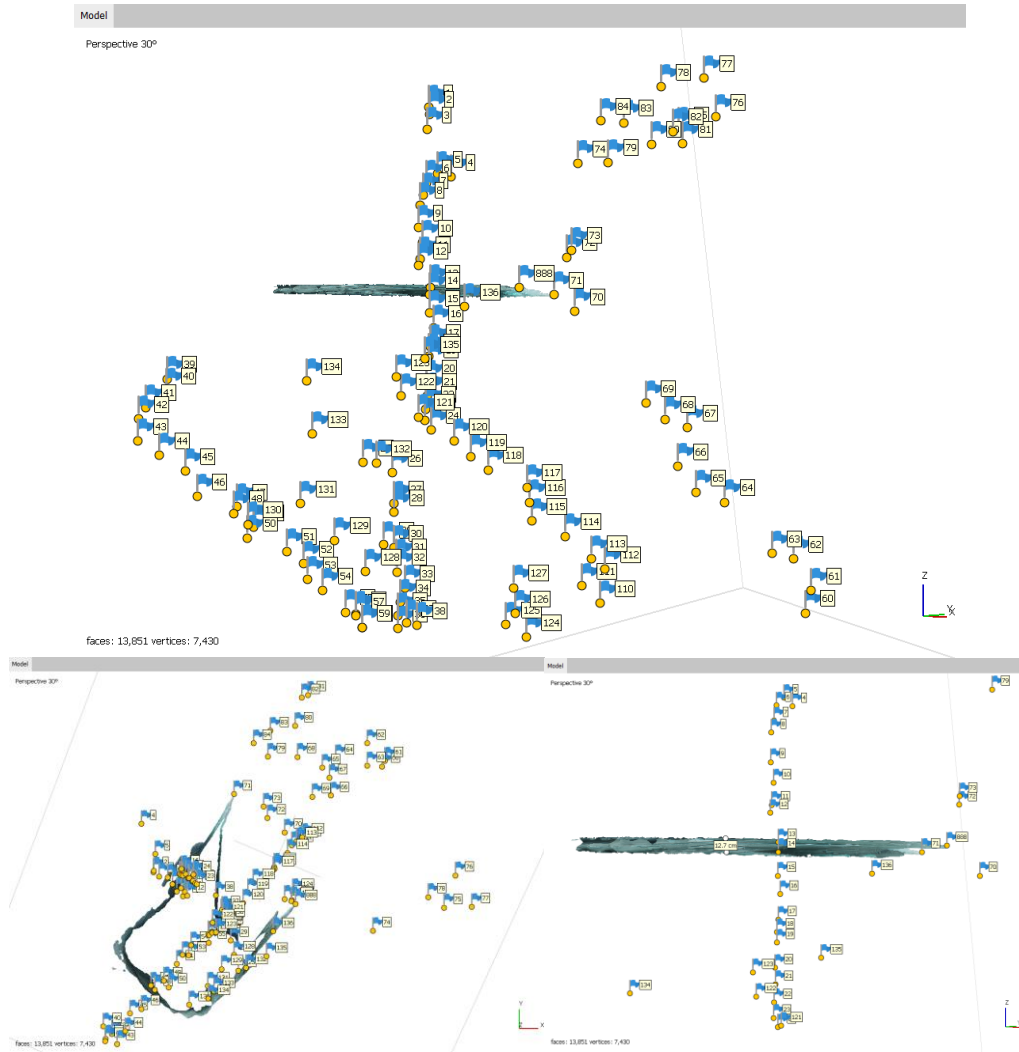
4.2. Διαδικασία παραγωγής τομών

1^ο Βήμα: Όπως αναλύθηκε στο 3^ο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το τριδιάστατο μοντέλο του γλυπτού του Δρομέα που προέκυψε ήταν γεωαναφερμένο σε τοπικό σύστημα αναφοράς, δηλαδή

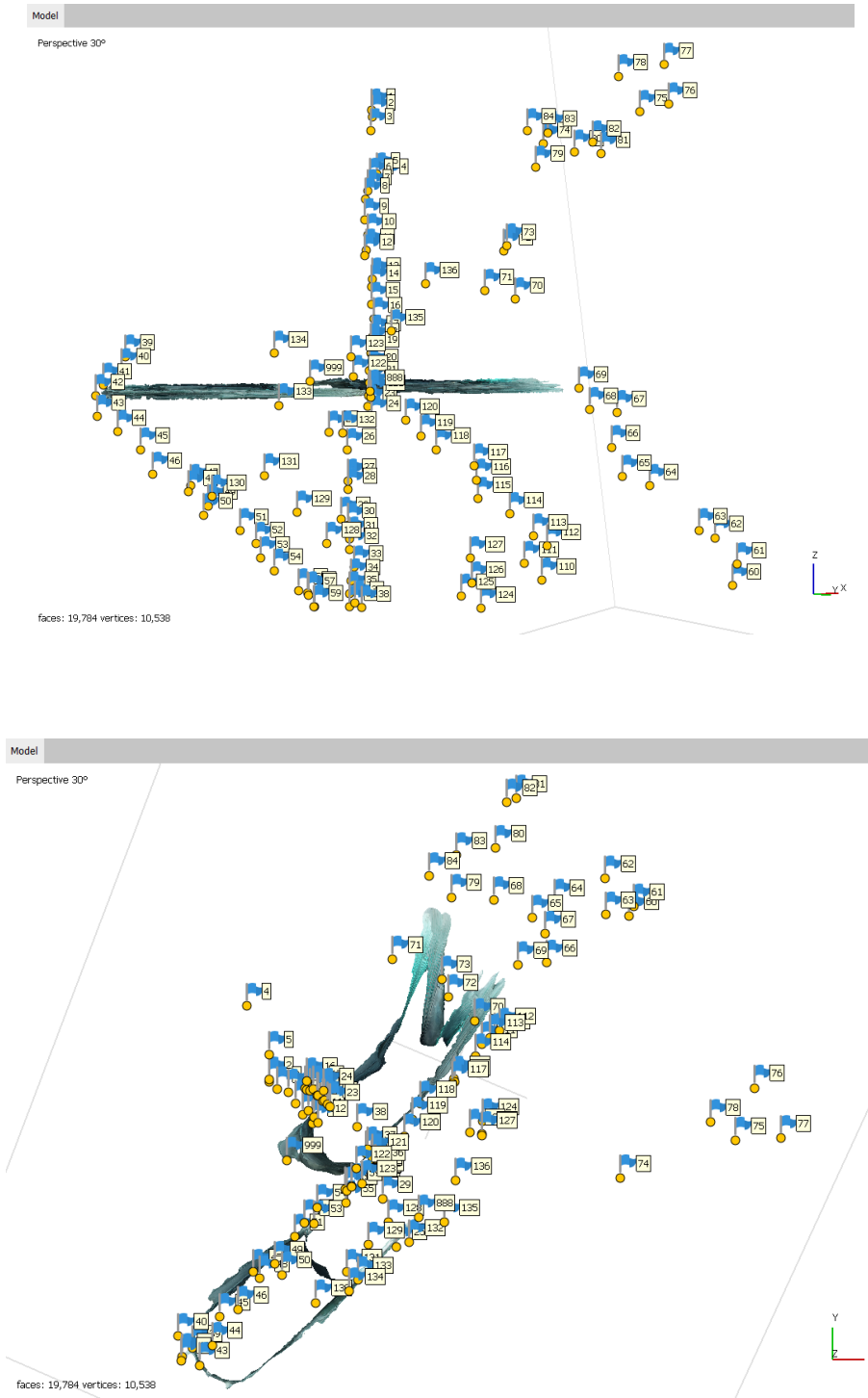
διέθετε μετρητικές πληροφορίες. Στο λογισμικό Agisoft, όπου και έγινε η παραγωγή του, δημιουργήθηκαν στο ίδιο Project 4 νέα chunks, τα οποία προέκυψαν με την αντιγραφή του πρωτογενούς, έτσι ώστε να περιέχουν τις αεροφωτογραφίες, το τελικό μοντέλο και τον χάρτη υφής. Στη συνέχεια, σε κάθε chunk πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός του μοντέλου στα επιθυμητά επίπεδα από τα οποία θα προκύπταν τα σχέδια των τομών. Το πάχος κάθε επιπέδου για τις εγκάρσιες τομές ήταν από 10 έως 15 εκατοστά προκειμένου να απεικονιζόταν σε αυτό ικανοποιητικός αριθμός γυάλινων πλακών και να μπορούν να αποδοθούν οι λεπτομέρειες του γλυπτού σε μορφή δισδιάστατου ψηφιακού σχεδίου. Για το επίπεδο της κατά μήκος τομής, το πάχος της ήταν από 35 έως 45 εκατοστά, διότι λόγω των απαιτήσεων της θέσης του (τομή στη μέση του γλυπτού), ήταν σημαντικό να αποδοθεί ψηφιακά όσο το δυνατόν περισσότερη πληροφορία για την γεωμετρία του. Στα σχήματα 4.1- 4.4, απεικονίζονται τα τμήματα αυτά του τριδιάστατου μοντέλου από διαφορετικές οπτικές γωνίες.



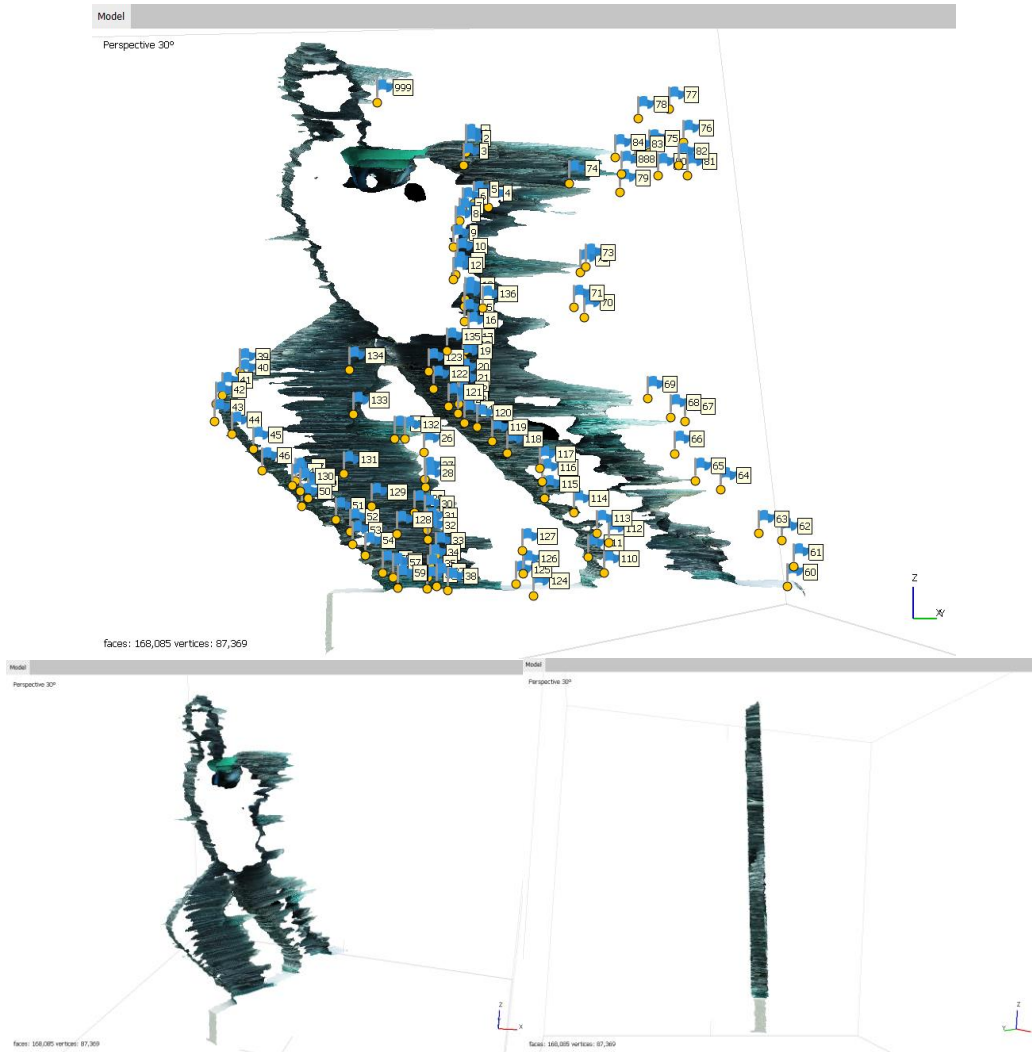
Σχήμα 4.1. Στιγμιότυπο οθόνης του τμήματος των χειρών του τριδιάστατου μοντέλου του Δρομέα σε όψη και κάτοψη μαζί με ενδεικτική αναγραφή του πάχους της επιφάνειας, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



Σχήμα 4.2. Στιγμιότυπο οθόνης του τμήματος της μέσης του τριδιάστατου μοντέλου του Δρομέα σε όψη και κάτοψη μαζί με ενδεικτική αναγραφή του πάχους της επιφάνειας, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



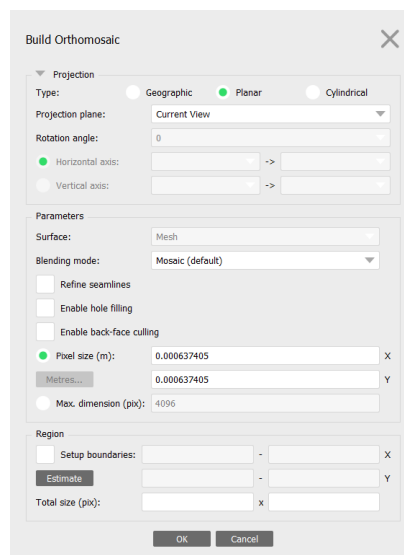
Σχήμα 4.3. Στιγμιότυπο οθόνης του τμήματος των ποδιών-γονάτου του τριδιάστατου μοντέλου του Δρομέα σε όψη και κάτοψη, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



Σχήμα 4.4. Στιγμιότυπο οθόνης που απεικονίζει την επιφάνεια του επιπέδου του τριδιάστατου μοντέλου του Δρομέα η οποία διέρχεται από τη μέση του γλυπτού σε δύο όψεις και υπό γωνία, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

2^ο Βήμα: Η παραπάνω διαδικασία, πραγματοποιήθηκε έτσι ώστε το κάθε τμήμα του μοντέλου να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός για την παραγωγή ορθοφωτογραφιών (orthophotos). Ο όρος ορθοφωτογραφία, αναφέρεται σε μια φωτογραφική εικόνα η οποία έχει υποστεί γεωμετρικές διορθώσεις προκειμένου να εξαλειφθούν οι παραμορφώσεις της που μπορεί να οφείλονται μεταξύ άλλων στην επίδραση των κλίσεων της μηχανής και στις εκτροπές του αναγλύφου. Με άλλα λόγια, με τον τρόπο αυτό μετατρέπεται μια κεντρική προβολή σε ορθή. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες μια ορθοφωτογραφίας είναι το ότι διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά ενός συμβατικού χάρτη (δηλαδή είναι σε ορθή προβολή και έχει ενιαία κλίμακα), ενώ παράλληλα περιέχει όλη την εικονιστική

πληροφορία της πρωτογενούς φωτογραφίας της. Το ορθομωσαϊκό από την άλλη μεριά, είναι η σύνθεση επί μέρους ορθοφωτογραφιών, οι οποίες βρίσκονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς, σε μια ενιαία εικόνα [11]. Το λογισμικό Metashape, μέσω της εντολής Build Orthomosaic, παράγει αυτόματα μια ορθοφωτογραφία για κάθε αεροφωτογραφία που βρίσκεται στο εκάστοτε chunk και στη συνέχεια δημιουργεί από αυτές ένα ορθομωσαϊκό. Το ορθομωσαϊκό που προκύπτει από αυτή την διαδικασία, είναι μια εικόνα με τις ιδιότητες μια ορθοφωτογραφίας, οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω. Δηλαδή για το μοντέλο του Δρομέα, το ορθομωσαϊκό είναι γεωαναφερόμενο σε τοπικό σύστημα αναφοράς και βρίσκεται σε ορθή προβολή. Για κάθε εικόνα που προέκυψε, οι παράμετροι ορίστηκαν ως εξής:

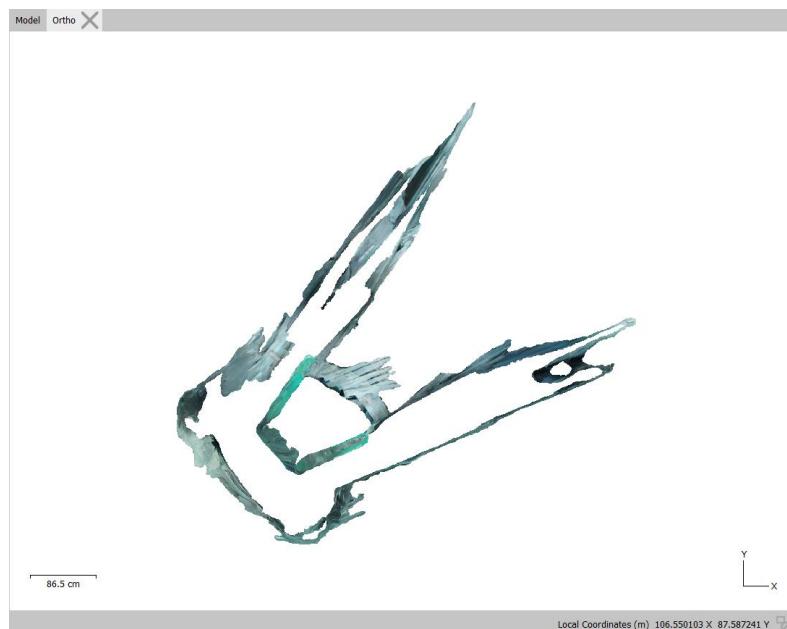


Σχήμα 4.5. Ρυθμίσεις διαδικασίας δημιουργίας ορθομωσαϊκού (Build Orthomosaic), σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

Οι επιλογές "Planar" και "Current View" στην κατηγορία Projection, υποδεικνύουν πως το επίπεδο προβολής και ο προσανατολισμός του μοντέλου έχουν οριστεί από τον χρήστη [77]. Η επιλογή Pixel Size αναφέρεται στο μέγεθος της εδαφοψηφίδας (Ground Sampling Distance - GSD) που θα χρησιμοποιηθεί στις ορθοφωτογραφίες και στο ορθομωσαϊκό και συνεπώς επηρεάζει την ανάλυση με την οποία θα παραχθεί η εικόνα. Το μέγεθος αυτό υπολογίζεται ανάλογα με την επιθυμητή κλίμακα του τελικού προϊόντος μέσω της εμπειρικής σχέσης:

$$GSD = 0.1\text{mm} * \text{συντελεστής κλίμακας} \quad (4.1.)$$

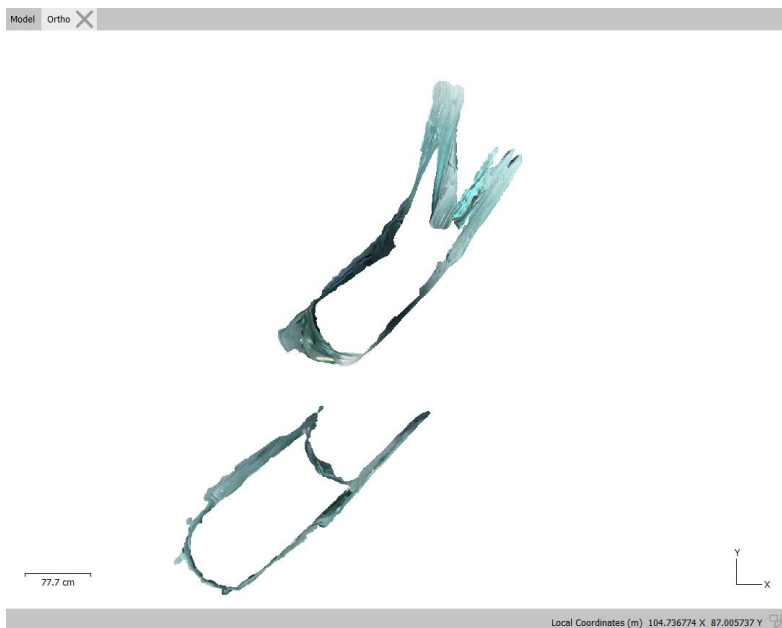
Επομένως, για κλίμακα 1/50, τα τέσσερα παραγόμενα ορθομωσαϊκά πρέπει να έχουν μέγεθος εδαφοψηφίδας μικρότερο ή ίσο με 5mm (0.005m) για να προκύψει ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Παρ'όλα αυτά, η τιμή του μεγέθους της εδαφοψηφίδας που επιλέχθηκε ήταν αυτή που υπολόγισε το λογισμικό αυτόματα κατά την εκτέλεση της εντολής (0.000637405m), διότι κρίθηκε ιδανικότερη από την τιμή που προτείνεται από την εμπειρική σχέση καθώς όσο μικρότερο το μέγεθος της εδαφοψηφίδας τόσο καλύτερη ανάλυση θα έχει η τελική εικόνα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα ορθομωσαϊκά των 3^{ων} εγκάρσιων τομών καθώς και της κατά μήκος τομής (στραμμένη προς τα νότιο-δυτικά).



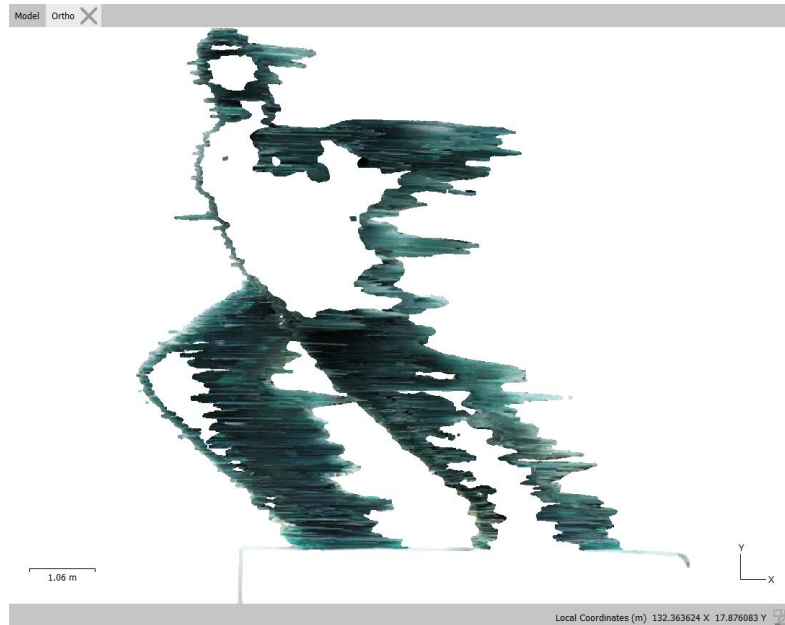
Σχήμα 4.6. Απεικόνιση ορθομωσαϊκού για την επιφάνεια του επιπέδου η οποία διέρχεται από το τμήμα των χεριών στο τριδιάστατο μοντέλο του Δρομέα, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



Σχήμα 4.7. Απεικόνιση ορθομωσαϊκού για την επιφάνεια του επιπέδου η οποία διέρχεται από το τμήμα της μέσης στο τριδιάστατο μοντέλο του Δρομέα, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

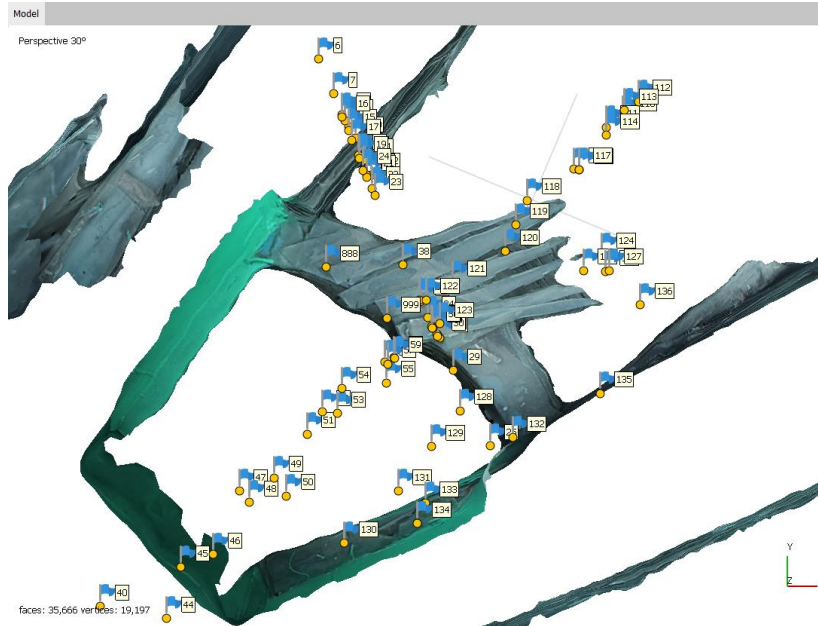


Σχήμα 4.8. Απεικόνιση ορθομωσαϊκού για την επιφάνεια του επιπέδου η οποία διέρχεται από το τμήμα των ποδιών-γονάτων στο τριδιάστατο μοντέλο του Δρομέα, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).



Σχήμα 4.9. Απεικόνιση ορθομωσαϊκού για την επιφάνεια του επιπέδου η οποία διέρχεται από την μέση του τριδιάστατου μοντέλου του Δρομέα, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

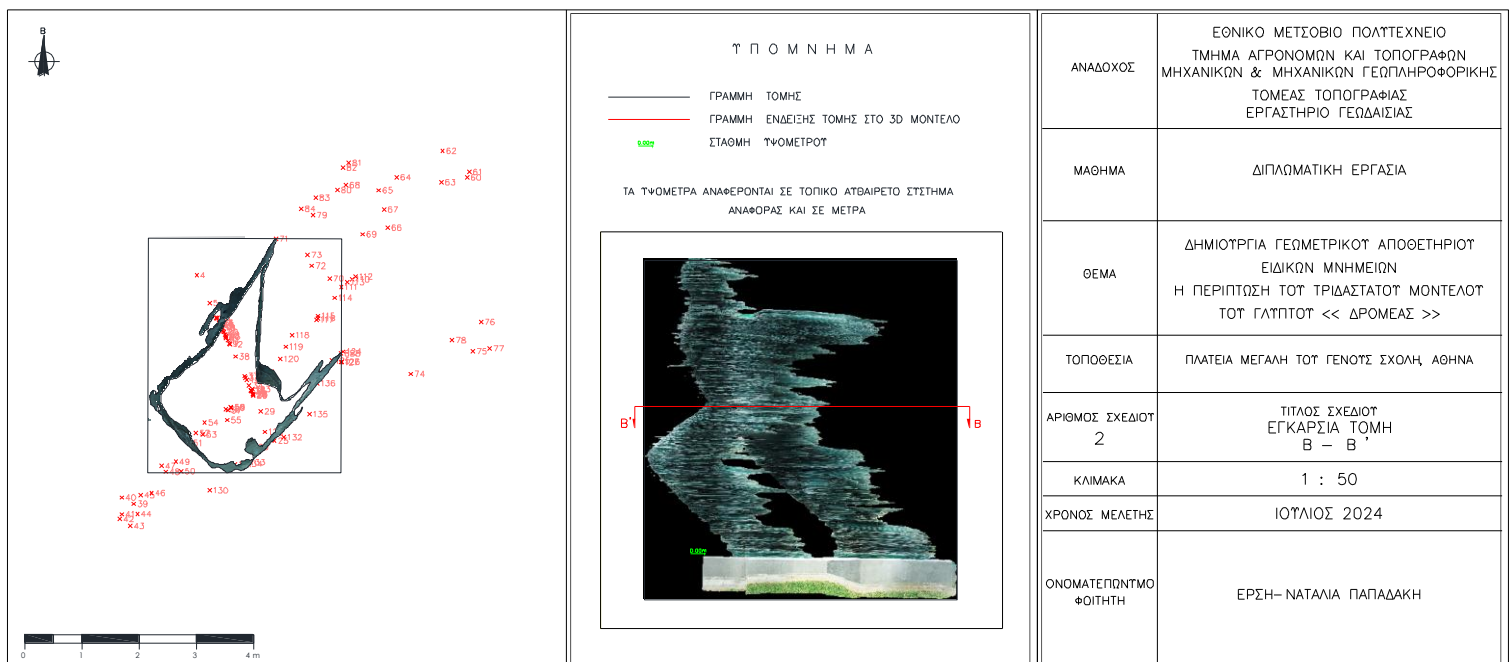
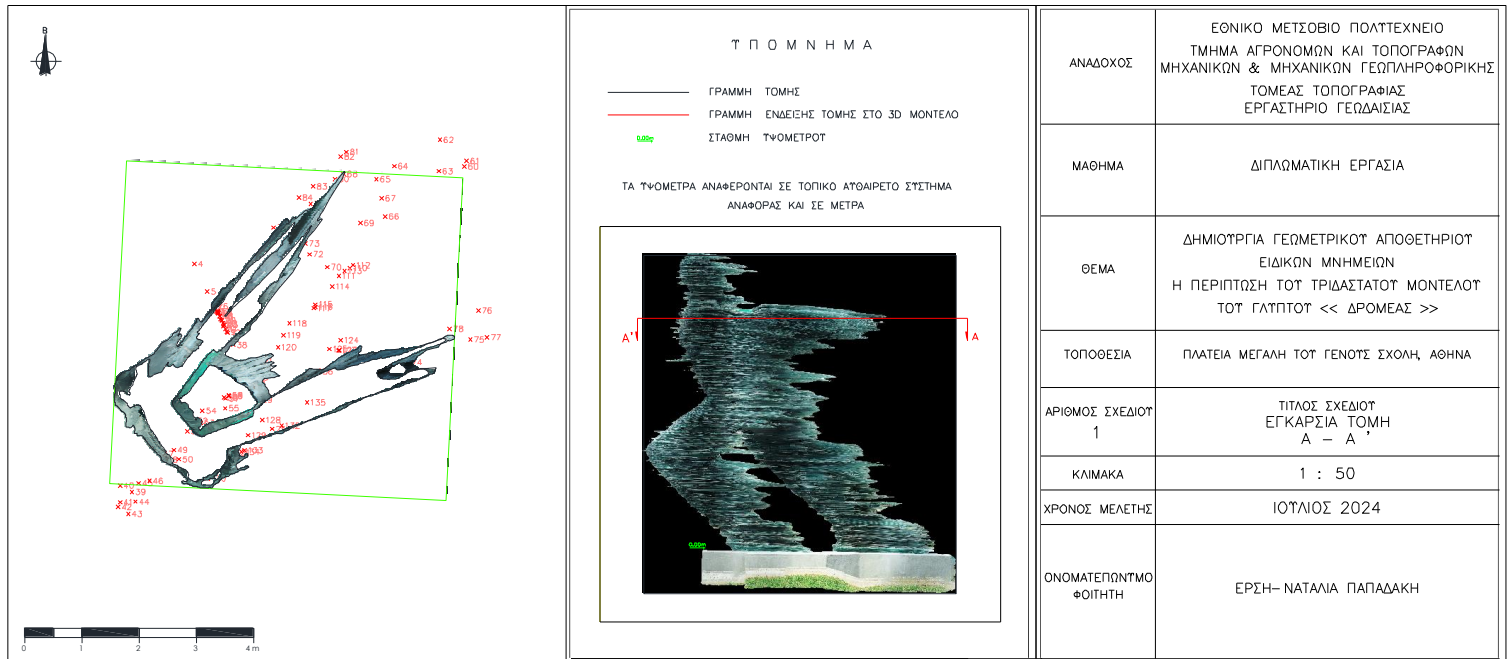
3^ο Βήμα: Στο λογισμικό Metashape, δημιουργήθηκαν 2 νέα σημεία για κάθε επίπεδο τομής πάνω στο τριγωνικό πλέγμα (mesh), τα οποία ήταν ανεξάρτητα των σημείων της ταχυμετρίας όμως είχαν συντεταγμένες σχετικές με το τοπικό σύστημα αναφοράς. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο να είναι τοποθετημένα σε ευδιάκριτες θέσεις τόσο πάνω στο μοντέλο όσο και στα ορθομωσαϊκά διότι στη συνέχεια, με την βοήθεια αυτών των σημείων γεωαναφέρθηκαν οι εικόνες στο λογισμικό CIVIL 3D. Το γεγονός ότι τα σημεία της ταχυμετρίας είχαν σκοπευθεί στο πεδίο σε τυχαίες θέσεις πάνω στο γλυπτό, κατέστη αναγκαία τη δημιουργία νέων έτσι ώστε να μπορούν να εντοπιστούν και να αντιστοιχηθούν με ακρίβεια στο λογισμικό CIVIL 3D. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά παραδείγματα αυτών των σημείων, τα οποία τοποθετήθηκαν στο επίπεδο τομής του τμήματος των χεριών του Δρομέα.

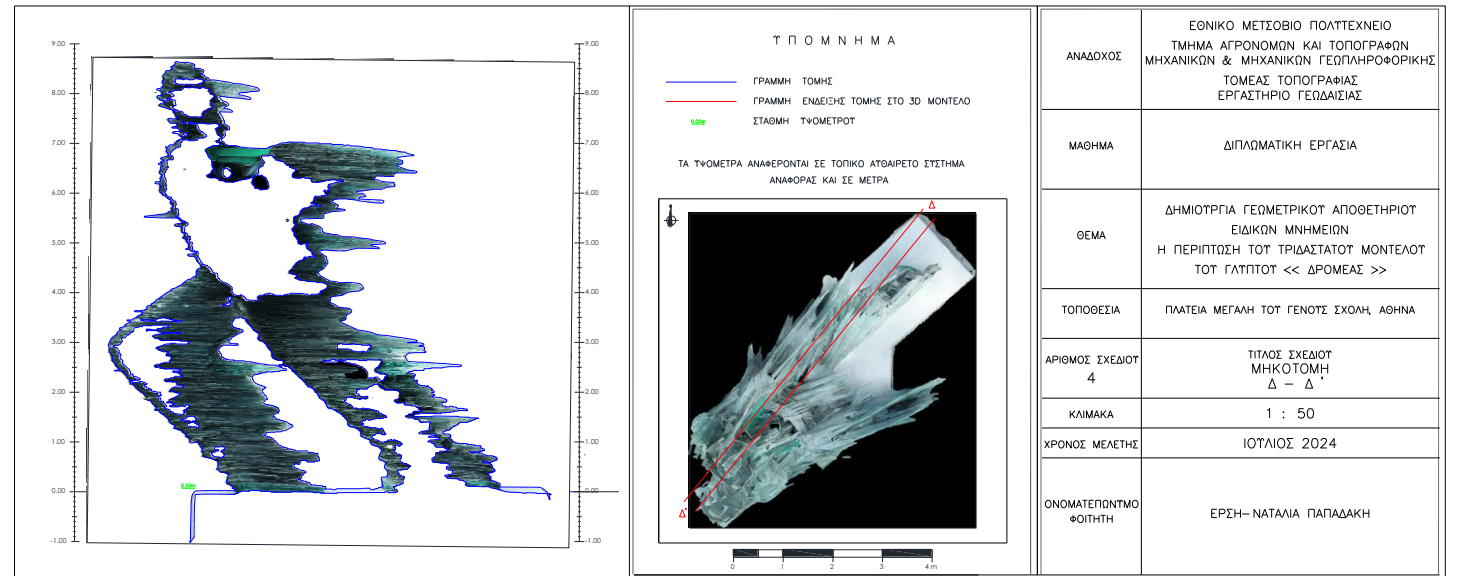
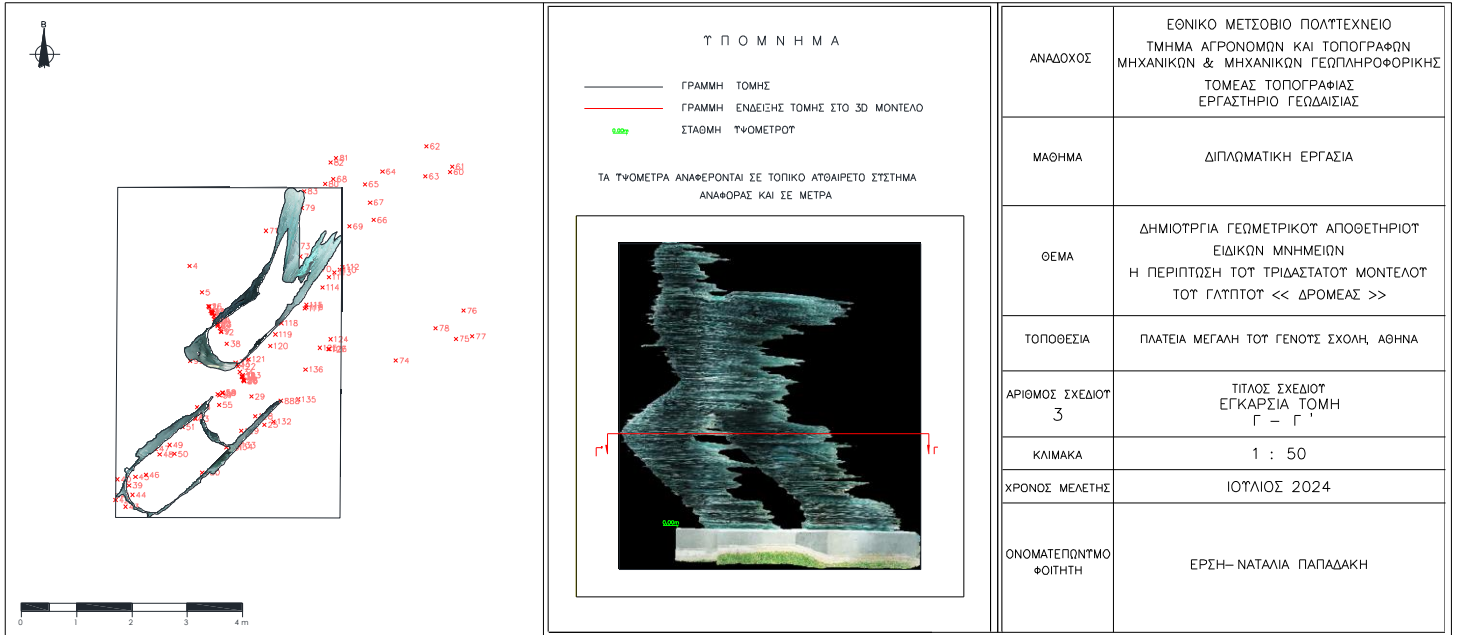


Σχήμα 4.10. Απεικόνιση της θέσης των σημείων 888 και 999, τα οποία τοποθετήθηκαν χειροκίνητα από τον χρήστη σε ευδιάκριτα σημεία, σε περιβάλλον Agisoft Metashape (Pro).

4^ο Βήμα: Στο λογισμικό CIVIL 3D (2023), δημιουργήθηκαν 4 νέα Projects, ένα για κάθε ψηφιακό σχέδιο τομής. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των σημείων της ταχυμετρίας και των 2 επιπλέον βοηθητικών για την γεωαναφορά σημείων. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε σε τυχαία θέση το ορθομοσαϊκό της κάθε τομής στο αντίστοιχο Project. Με την εντολή Align και με την βοήθεια των δύο επιπλέον σημείων, πραγματοποιήθηκε η μετακίνηση της κάθε ορθοεικόνας στις σωστές συντεταγμένες στον χώρο. Τέλος, με οδηγό την κάθε ορθοεικόνα για το σχήμα των τομών, δημιουργήθηκαν τα 4 ζητούμενα σχέδια τα οποία απεικόνιζαν την τομή, την θέση της τομής πάνω στο γλυπτό, ένα υπόμνημα και τον τίτλο με τις λεπτομέρειες του σχεδίου.

4.3. Αποτελέσματα





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΓΛΥΠΤΟΥ

5.1. Εισαγωγή

Όπως αναλύθηκε στο υπο-κεφάλαιο 2.1.1, η γεωμετρική τεκμηρίωση και διασφάλιση ενός μνημείου ή έργου σε ηλεκτρονική μορφή είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι, μεταξύ άλλων, καθιστά ικανή τη δημιουργία μιας Βάσης Δεδομένων έτσι ώστε να οργανώνονται καλύτερα οι γεωμετρικές, ιστορικές και αρχιτεκτονικές πληροφορίες για αυτό, καθώς επίσης και να είναι διαθέσιμες στο ευρύτερο κοινό, με εύχρηστο και προσβάσιμο τρόπο μέσω υπολογιστή, ακόμη και εξ αποστάσεως.

Ο όρος Βάση Δεδομένων αναφέρεται σε μια οργανωμένη και τυποποιημένη συλλογή από αλληλο-σχετιζόμενα δεδομένα (δηλαδή γνωστά γεγονότα, μετρήσεις ή καταγραφές) που έχουν κάποια υπονοούμενη σημασία και ιδιότητες και μπορούν να τεκμηριωθούν. Ένα από τα χαρακτηριστικά μιας Βάσης Δεδομένων είναι το γεγονός πως αναπαριστά κάθε φορά μια πτυχή/πλευρά/όψη του πραγματικού κόσμου (part of the Universe). Έτσι, οι αλλαγές που εμφανίζονται σε αυτόν αντανακλώνται στη Βάση Δεδομένων καθώς διαθέτει την ιδιότητα να μπορεί να τροποποιηθεί ανά πάσα στιγμή και με αυτόν τον τρόπο να ενημερώνεται συνεχώς, μέσω κατάλληλου λογισμικού. Πρόκειται επίσης για μια *λογικά συνεκτική συλλογή δεδομένων που έχει εγγενή σημασία*, και όχι για τυχαίες διευθετήσεις δεδομένων [30]. Η δημιουργία μιας Βάσης Δεδομένων πραγματοποιείται κάθε φορά για την εκπλήρωση ενός συγκεκριμένου σκοπού. Οι πληροφορίες που εγγράφονται σε αυτή προέρχονται από κάποια σχετική πηγή, ενώ παράλληλα αλληλεπιδρά σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό με τον πραγματικό κόσμο. Μια Βάση Δεδομένων προορίζεται για συγκεκριμένες ομάδες χρηστών που τους ενδιαφέρει ενεργά το περιεχόμενό της και θα αξιοποιήσουν τις πληροφορίες που μπορεί να διαθέσει σε περαιτέρω εφαρμογές και έρευνες. Η διακύμανση στο μέγεθος και την πολυπλοκότητα της Βάσης εξαρτάται από τον όγκο των δεδομένων, από τη φύση του γεγονότος-αντικειμένου που πραγματεύεται, καθώς και από τον τρόπο

μοντελοποίησης των πληροφοριών, ενώ επίσης μπορεί να πάρει οποιεσδήποτε διαστάσεις. Όσο μεγαλύτερος ο όγκος των πληροφοριών που διαχειρίζεται η Βάση, τόσο πιο επιτακτική είναι η ανάγκη οργάνωσής τους έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να αναζητούν, να ανακτούν και να ενημερώνουν τα δεδομένα με ευκολία. Τέλος, μια Βάση Δεδομένων μπορεί να δημιουργηθεί και να συντηρηθεί είτε χειρόγραφα είτε με μηχανοργάνωση.

5.2. Βάση Δεδομένων για το μοντέλο του γλυπτού του Δρομέα

Αρχικά για την παρούσα περίπτωση του τριδιάστατου ψηφιακού μοντέλου του γλυπτού του Δρομέα, πραγματοποιήθηκε έρευνα και δοκιμή δημιουργίας μιας Βάσης Δεδομένων σε λογισμικά όπως το AutoCAD της εταιρείας Autodesk, το 3D Viewer και 3D Builder της εταιρείας Microsoft καθώς και το QGIS με εισαγωγή και εμφάνιση του μοντέλου στη τριδιάστατη μορφή του. Όμως το εγχείρημα δεν είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα, καθώς κανένα από τα λογισμικά δεν συνδύαζε τη δυνατότητα εμφάνισης του μοντέλου σε τριδιάστατη μορφή και τη δημιουργία Βάσης Δεδομένων πάνω σε αυτό.

Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε η δημιουργία μιας απλούστερης Βάσης Δεδομένων στο περιβάλλον του λογισμικού QGIS (έκδοσης 3.32.0), όμως με την χρήση ορθοφωτογραφιών που απεικονίζουν το μοντέλο από διαφορετικές οπτικές γωνίες.

5.2.1. Διαδικασία δημιουργίας Βάσης Δεδομένων

Όπως αναλύθηκε στο υπο-κεφάλαιο 3.3.4, το βέλτιστο μοντέλο που επιλέχθηκε ήταν αυτό που δημιουργήθηκε από τις φωτογραφίες του Drone και η επεξεργασία του πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Metashape της εταιρείας Agisoft.

1^ο Βήμα

Στο προαναφερθέν λογισμικό, ελήφθησαν 4 ορθοφωτογραφίες που απεικονίζουν τις 4 βασικές όψεις του γλυπτού (βόρειο-δυτική, νότιο-ανατολική, βόρειο-ανατολική, νότιο-δυτική) καθώς επίσης και άλλες 4 όψεις που απεικονίζουν το γλυπτό υπό διαφορετικές οπτικές γωνίες (ο όρος ορθοφωτογραφία έχει αναλυθεί στο υπο-κεφάλαιο 4.2. στο 2^ο βήμα

της διαδικασίας παραγωγής τομών). Οι ορθοφωτογραφίες αυτές αποθηκεύτηκαν σε μορφή αρχείου .tiff (Tagged Image File Format). Ο συγκεκριμένος τύπος αρχείου είναι διαδεδομένος για την αποθήκευση raster δεδομένων (raw data) καθώς διαθέτει πολλά θετικά χαρακτηριστικά, αν και δημιουργεί αρχεία σχετικά αυξημένου όγκου. Χρησιμοποιείται συχνά για φωτογραμμετρικούς σκοπούς ή για λήψεις επαγγελματικής φωτογράφισης διότι είναι ιδανικός για την αποθήκευση αρχείων υψηλής ανάλυσης λόγω του ότι μπορεί να διατηρήσει ακέραια την ευκρίνεια της εικόνας χωρίς σημαντικές απώλειες [27]. Είναι επίσης ιδανικός τύπος αποθήκευσης και μεταφοράς ψηφιακών δορυφορικών εικόνων, υψομετρικών μοντέλων, σαρωμένων (scanned) αεροφωτογραφιών και χαρτών [33]. Επιπλέον, με γνώμονα τη χρήση των αρχείων αυτών από διάφορων ειδών λογισμικά συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS – Geographic Information Systems), κρίνεται αναγκαία η ενσωμάτωση της γεωγραφικής πληροφορίας που διαθέτουν μέσα στον τύπο αρχείου .tiff (π.χ. γεωγραφικό μήκος και πλάτος, προβολή χάρτη, κτλ.) [33].

2° Βήμα

Πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των παραπάνω ορθοφωτογραφιών στο λογισμικό QGIS (έκδοσης 3.32.0). Στην περίπτωση που ο τύπος αρχείου .tiff των ορθοφωτογραφιών δεν ενσωμάτωνε την γεωγραφική τους πληροφορία, θα έπρεπε να γεωαναφερθούν μέσω των φωτοσταθερών σημείων που χρησιμοποιήθηκαν και στο υπο-κεφάλαιο 3.3.3.iv για την γεωαναφορά του μοντέλου και με τη χρήση κάποιου μετασχηματισμού. Όμως εφόσον χρησιμοποιήθηκε ο τύπος αρχείου .tiff που όπως αναλύθηκε παραπάνω διαθέτει το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, οι ορθοφωτογραφίες που εισήχθησαν στο λογισμικό διέθεταν ήδη τις μετρητικές τους ιδιότητες και ήταν γεωαναφερμένες στο αυθαίρετο σύστημα αναφοράς που υπολογίστηκε στο υπο-κεφάλαιο 3.2. Επομένως δεν χρειάστηκαν περαιτέρω διεργασίες στις ορθοφωτογραφίες μετά από την εισαγωγή τους στο λογισμικό.

3^ο Βήμα

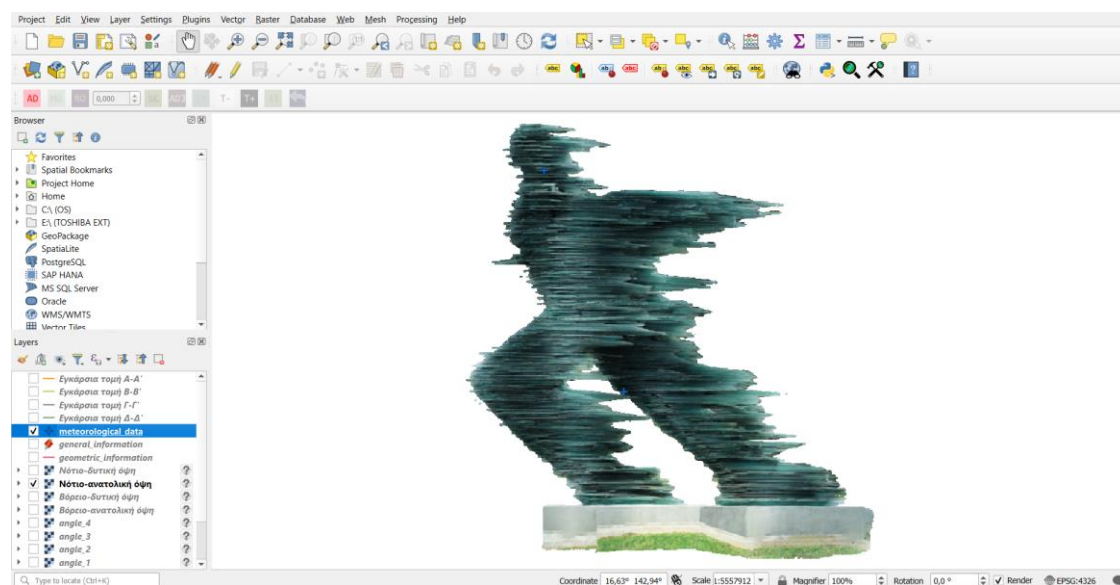
Δημιουργήθηκαν σημειακά και γραμμικά θεματικά επίπεδα (layers) πάνω σε συγκεκριμένα σημεία του γλυπτού. Εσωτερικά των layers αυτών στον πίνακα στοιχεία τους (Attribute Table του), υπάρχουν στήλες οι οποίες τοποθετούνται χειροκίνητα από τον χρήστη και αναφέρονται σε εννοιολογικά και μετεωρολογικά στοιχεία για το γλυπτό. Επιπλέον τοποθετήθηκαν στη Βάση αυτή raster αρχεία (εικόνες των σχεδίων τομών και ορθοφωτογραφίες) που αναφέρονταν στα γεωμετρικά στοιχεία του γλυπτού. Η οπτικοποίηση των layers αυτών, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μιας από τις ορθοφωτογραφίες του γλυπτού που απεικονίζει τη νότιο-ανατολική του όψη.

Αναλυτικά, δημιουργήθηκε ένα σημειακό θεματικό επίπεδο με όνομα "meteorological_data" το οποίο εμφανίζεται στο λογισμικό με τη μορφή 2 σημείων πάνω στο γλυπτό, τα οποία τοποθετήθηκαν έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν τις θέσεις στις οποίες είχαν τοποθετηθεί οι δύο αισθητήρες ανίχνευσης κατά τις μετρήσεις στο πεδίο. Το θεματικό επίπεδο αυτό περιείχε τις εξής 4 στήλες: id (μοναδικός κωδικός για κάθε σημείο), Temperature (θα δέχεται δεδομένα που αφορούν τη θερμοκρασία), Pressure (θα δέχεται δεδομένα που αφορούν την πίεση) και Humidity (θα δέχεται δεδομένα που αφορούν την υγρασία). Οι στήλες αυτές δεν περιέχουν προς το παρόν δεδομένα, αλλά αναφέρονται στις μετρήσεις που συλλέχθηκαν σε προηγούμενο χρόνο από μια ομάδα Μηχανολόγων Μηχανικών με σκοπό την πραγματοποίηση θερμικών προσομοιώσεων στο γλυπτό του Δρομέα. Τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου θεματικού επιπέδου παρουσιάζονται στα σχήματα 5.1 και 5.2.

Το δεύτερο σημειακό θεματικό επίπεδο που δημιουργήθηκε, ονομάστηκε "general_information" και αναφέρονταν στις εννοιολογικές πληροφορίες σχετικά με το γλυπτό του Δρομέα. Απεικονίζεται στην ορθοφωτογραφία με ένα σημείο πάνω σε μια τυχαία θέση του γλυπτού και ο πίνακας στοιχείων του αποτελείται από τις εξής στήλες: id (μοναδικός κωδικός για κάθε σημείο), Location (πληροφορίες για την τοποθεσία του γλυπτού), Sculptor (όνομα του γλύπτη), Material (πληροφορίες για το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο το γλυπτό), Creation (πληροφορίες για το έτος δημιουργίας του γλυπτού) και Purpose (πληροφορίες για τον λόγο δημιουργίας του γλυπτού). Τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου θεματικού επιπέδου παρουσιάζονται στα σχήματα 5.3 και 5.4.

Το τρίτο γραμμικό θεματικό επίπεδο που δημιουργήθηκε ονομάστηκε "geometric_information" και αναφέρονταν στις γεωμετρικές πληροφορίες του γλυπτού. Συγκεκριμένα, στο layer αυτό απεικονίζονταν πάνω στο γλυπτό η θέση των τομών που πραγματοποιήθηκαν στο Κεφάλαιο 4. Ο πίνακας στοιχείων αποτελούνταν από 4 γραμμές (όσες και τα σχέδια των τομών που δημιουργήθηκαν) και από τις εξής 2 στήλες: id (μοναδικός κωδικός για κάθε σημείο), Name (πληροφορίες για το όνομα του κάθε σχεδίου τομής). Η ολοκληρωμένη απεικόνιση των γεωμετρικών στοιχείων του γλυπτού στη Βάση Δεδομένων, πραγματοποιήθηκε με την εισαγωγή 7 raster αρχείων-εικόνων, οι οποίες απεικόνιζαν τις υπόλοιπες όψεις του γλυπτού και 4^{ov} αρχείων .dxf τα οποία απεικόνιζαν τις τομές του γλυπτού σε 4 διαφορετικές θέσεις του (όπως πραγματοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 4). Τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου θεματικού επιπέδου παρουσιάζονται στα σχήματα από 5.5 έως 5.17.

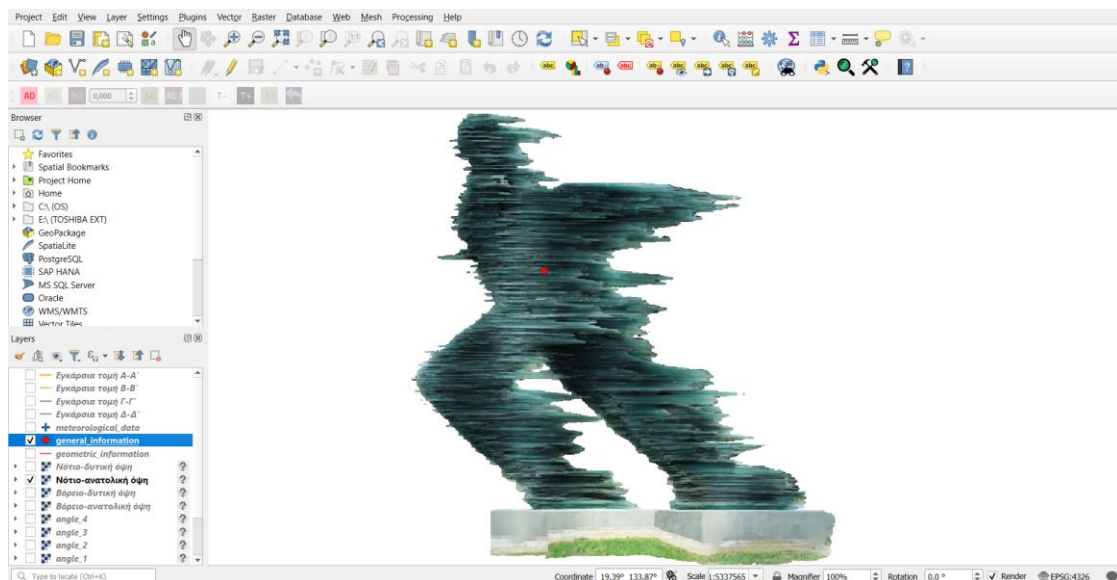
5.2.2. Αποτελέσματα



Σχήμα 5.1. Απεικόνιση της νότιο-ανατολικής όψης του γλυπτού και του σημειακού θεματικού επιπέδου που αφορά τα μετεωρολογικά δεδομένα, σε περιβάλλον QGIS.

id	Temperatur	Pressure	Humidity
1	NULL	NULL	NULL
2	NULL	NULL	NULL

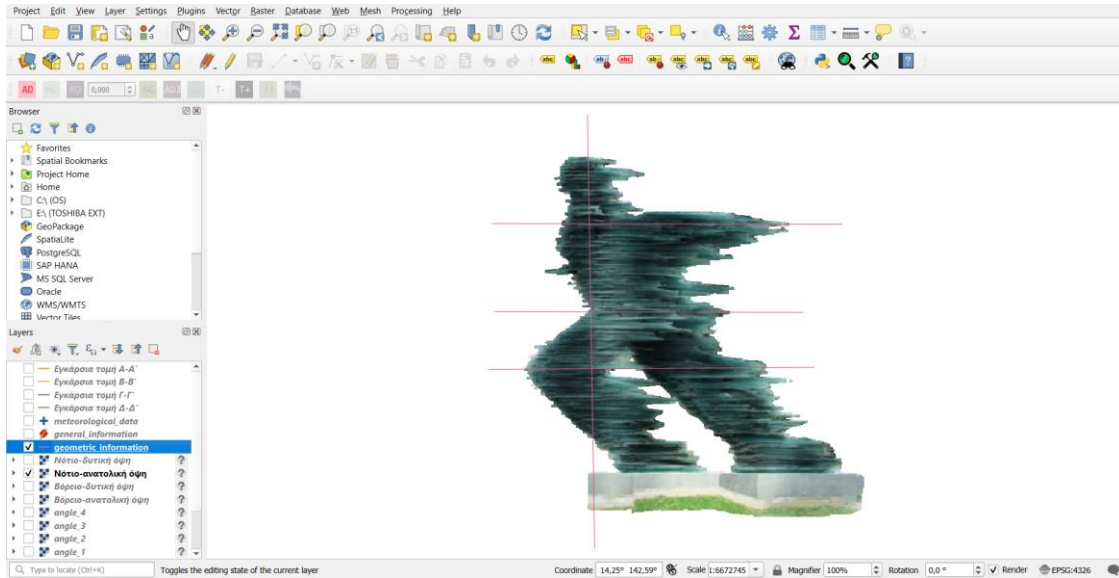
Σχήμα 5.2. Απεικόνιση του πίνακα στοιχείων (attribute table) για το σημειακό θεματικό επίπεδο που αφορά τα μετεωρολογικά δεδομένα, σε περιβάλλον QGIS.



Σχήμα 5.3. Απεικόνιση της νότιο-ανατολικής όψης του γλυπτού και του σημειακού θεματικού επιπέδου που αφορά τις γενικές εννοιολογικές πληροφορίες του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.

id	Location	Sculptor	Material	Creation	Purpose
1	Πλατεία Μεγάλη του Γένους Σχολή, Αθήνα, Ελλάδα	Κώστας Βαριάντος	Γυάλινες πλάκες	1988	Η έκθεση του στη καλλιτεχνική δράση «Δρύμενα», που οργανώθηκε από τον Δήμο Αθηναίων.

Σχήμα 5.4. Απεικόνιση του πίνακα στοιχείων (attribute table) για το σημειακό θεματικό επίπεδο που αφορά τις γενικές εννοιολογικές πληροφορίες του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.



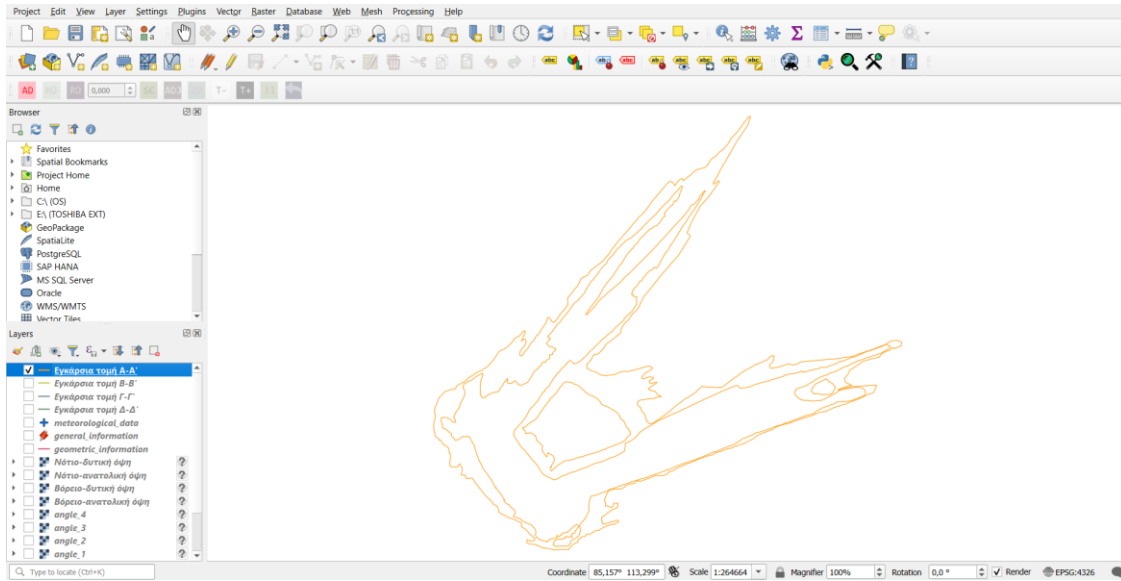
Σχήμα 5.5. Απεικόνιση της νότιο-ανατολικής όψης του γλυπτού και του σημειακού θεματικού επιπέδου που αφορά τις γεωμετρικές πληροφορίες του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.

geometric_information — Features Total: 4, Filtered: 4, Selected: 0

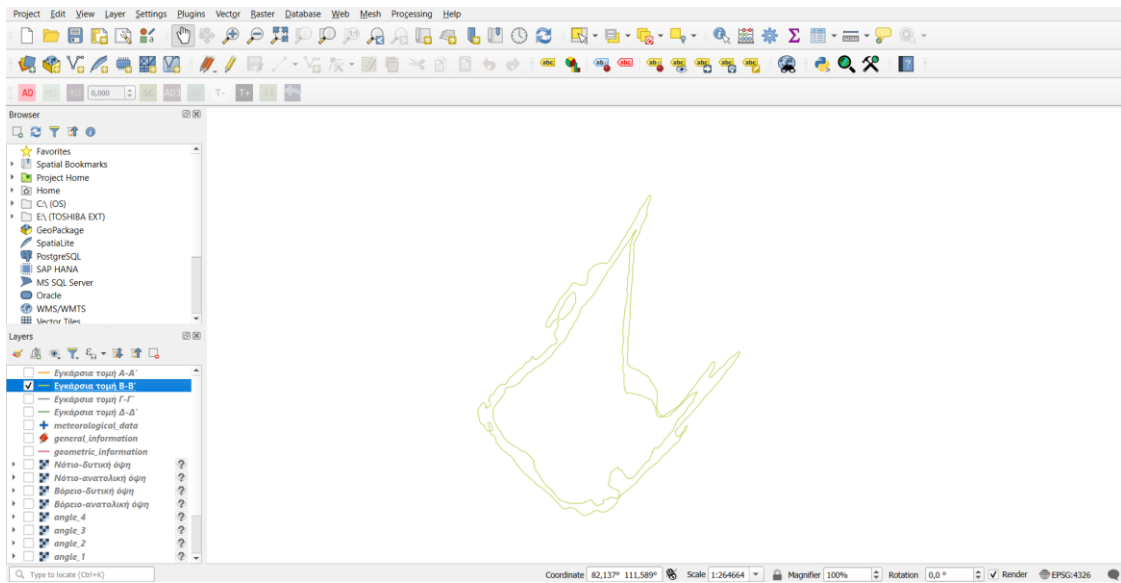
id	Type	Name
1	Τομή	Εγκάρσια τομή ...
2	Τομή	Εγκάρσια τομή ...
3	Τομή	Εγκάρσια τομή ...
4	Τομή	Μηκοτομή Δ-Δ'

Show All Features

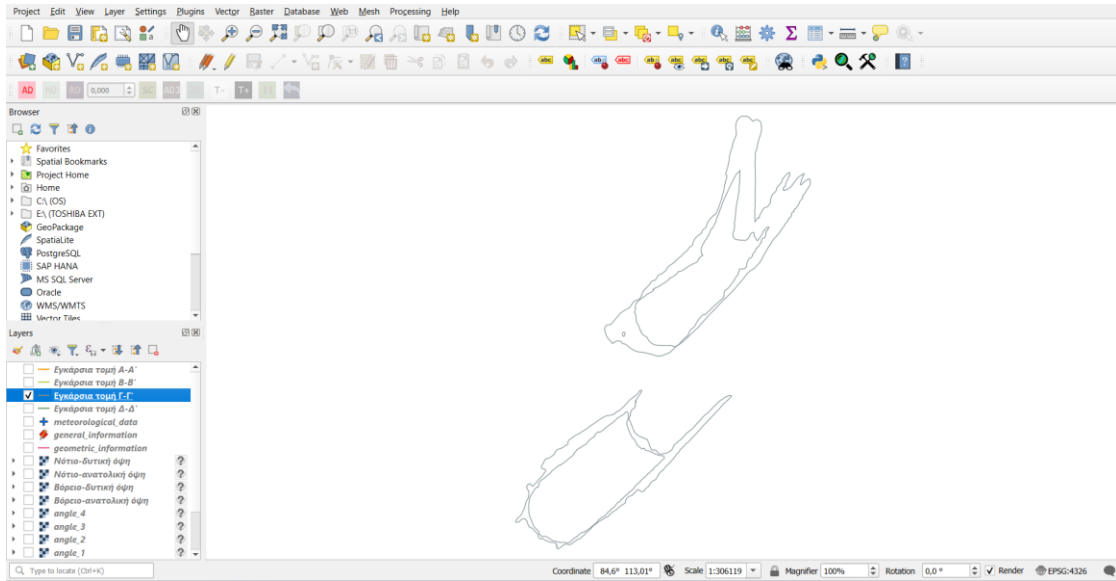
Σχήμα 5.6. Απεικόνιση του πίνακα στοιχείων (attribute table) για το σημειακό θεματικό επίπεδο που αφορά τις γεωμετρικές πληροφορίες του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.



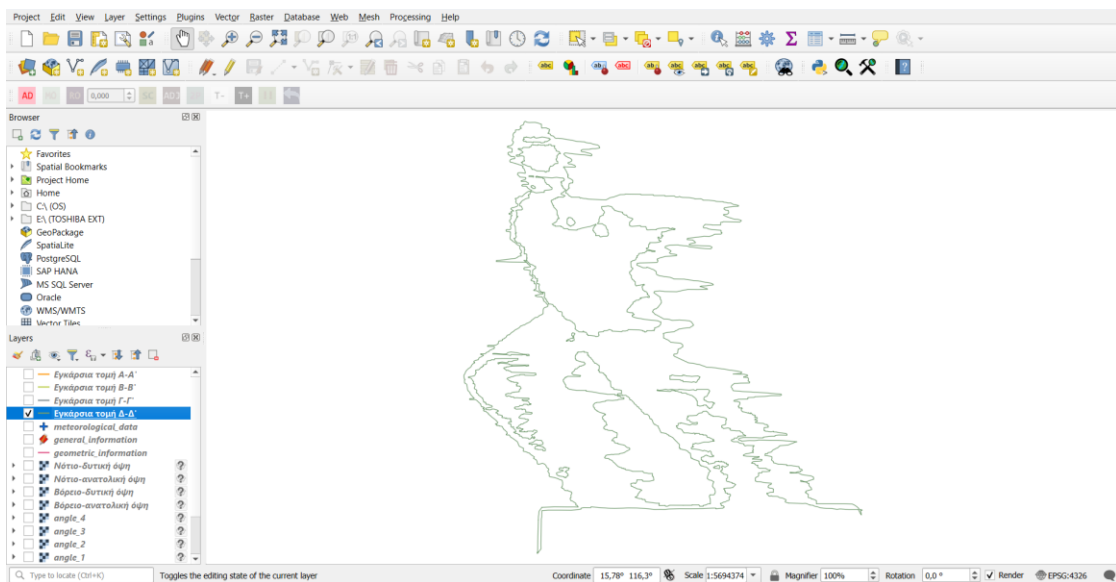
Σχήμα 5.7. Εγκάρσια τομή Α-Α' του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS..



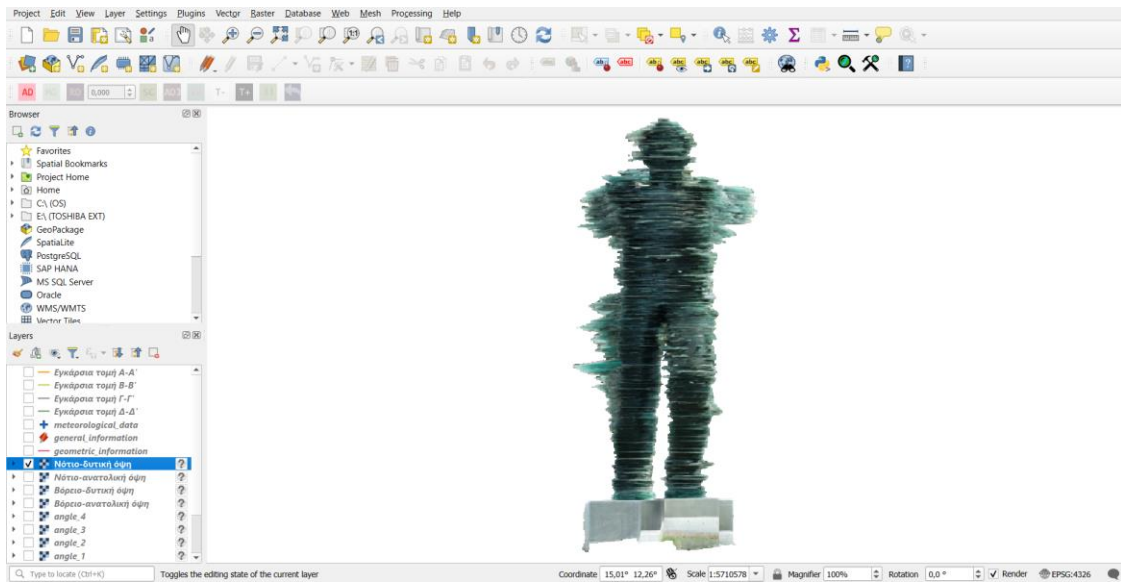
Σχήμα 5.8. Εγκάρσια τομή Β-Β' για του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.



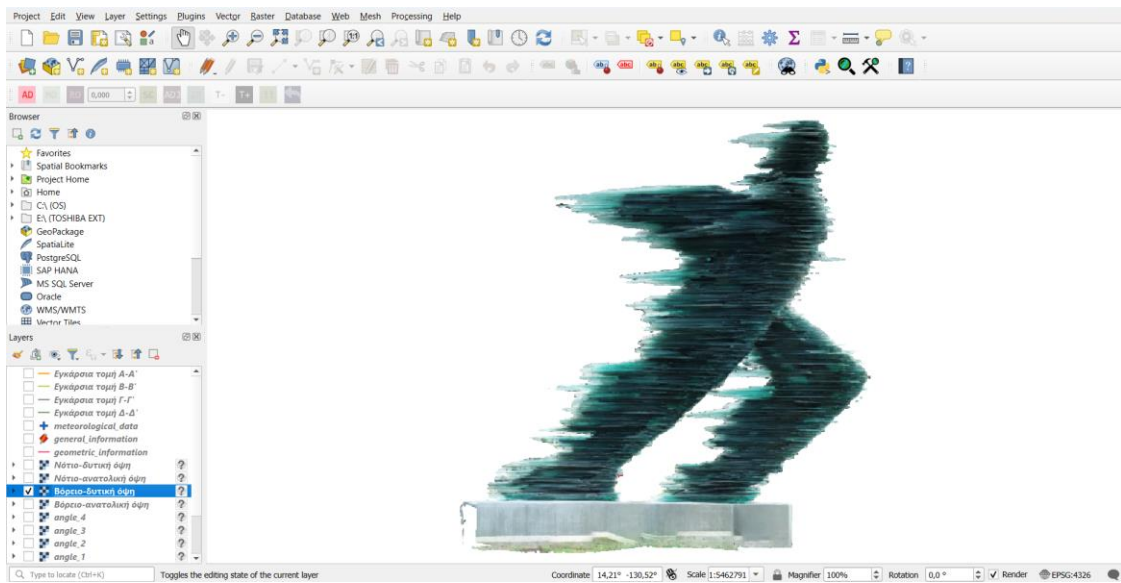
Σχήμα 5.9. Εγκάρσια τομή Γ-Γ' του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.



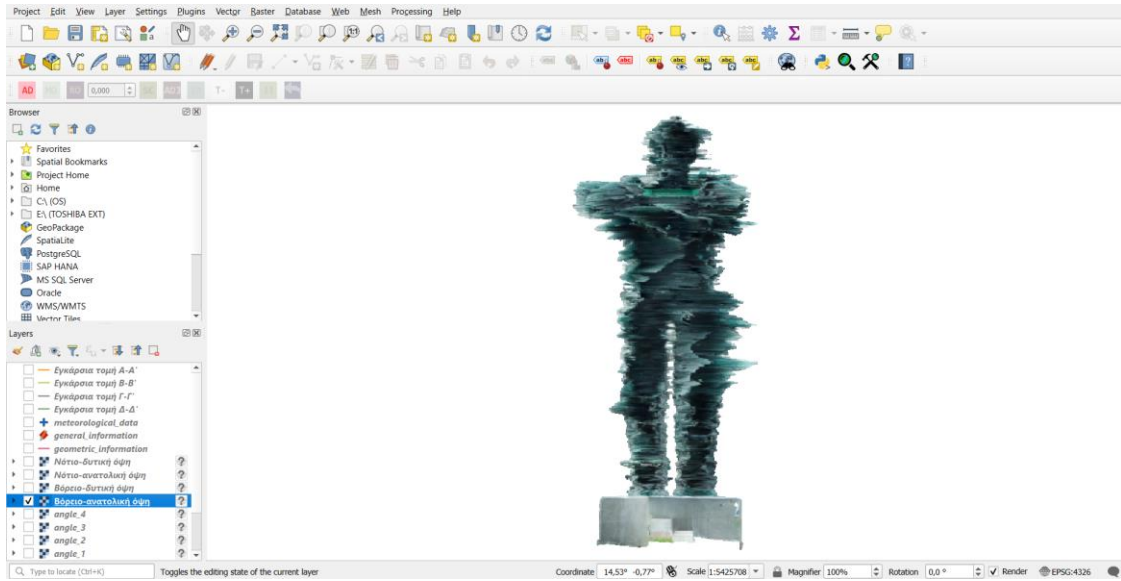
Σχήμα 5.10. Μηκοτομή του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.



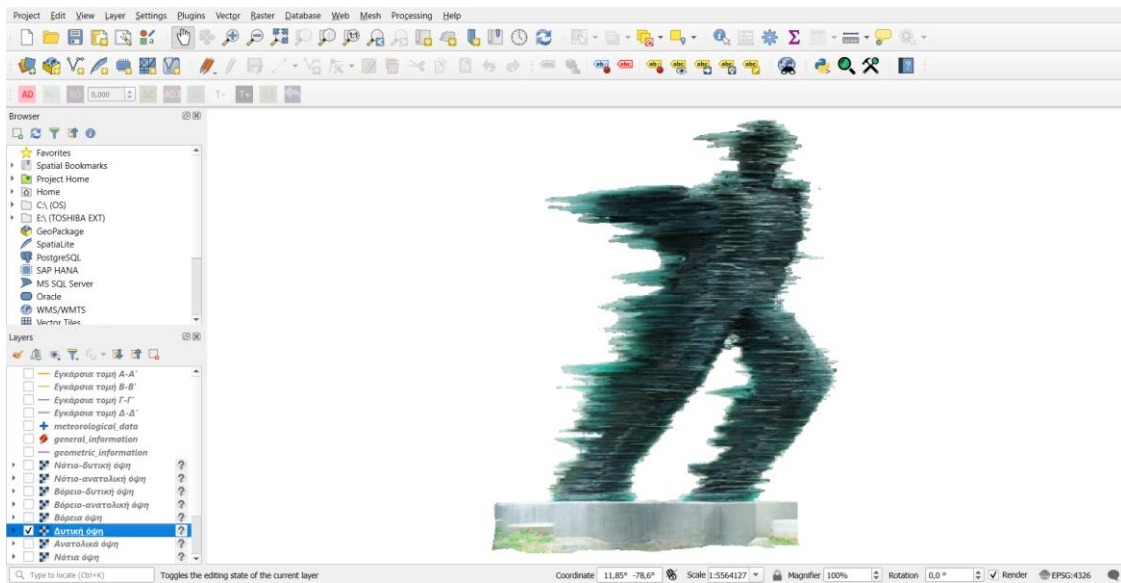
Σχήμα 5.11. Απεικόνιση της νότιο-δυτικής όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.



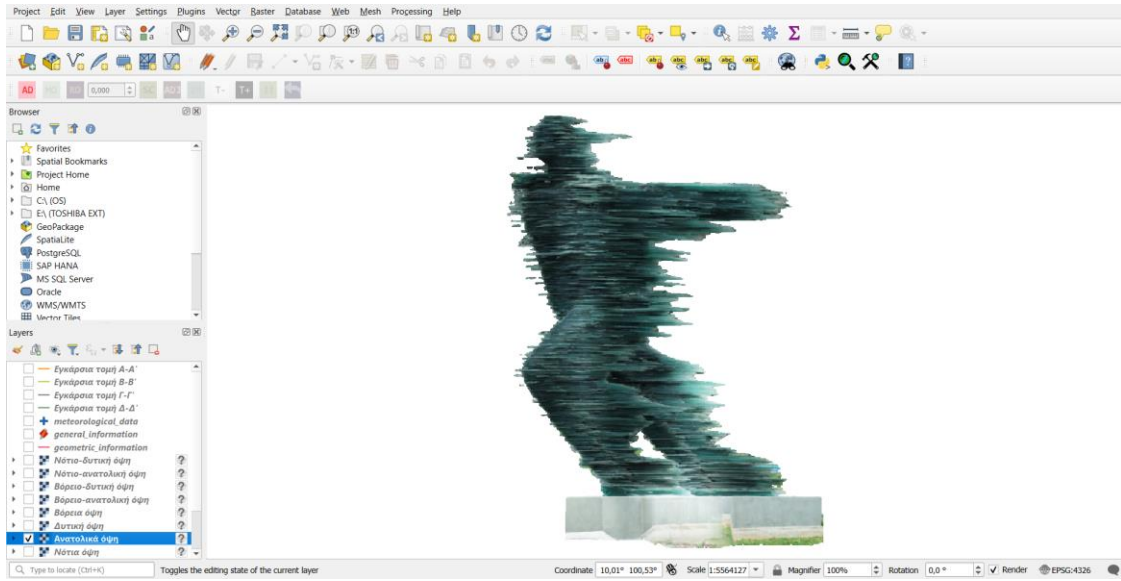
Σχήμα 5.12. Απεικόνιση της βόρειο-δυτικής όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.



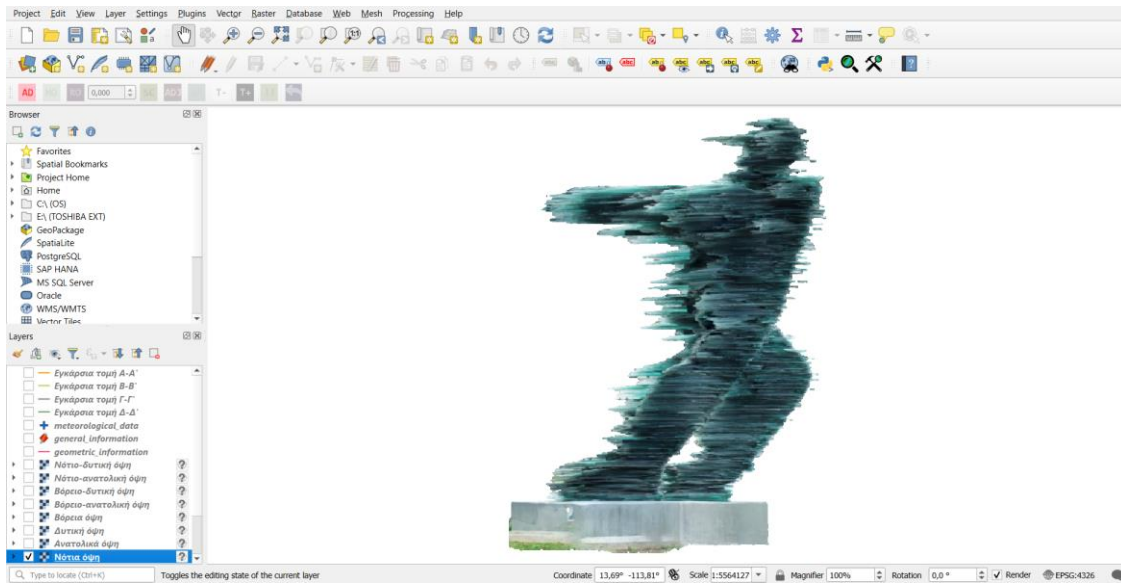
Σχήμα 5.13. Απεικόνιση της βόρειο-ανατολικής όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.



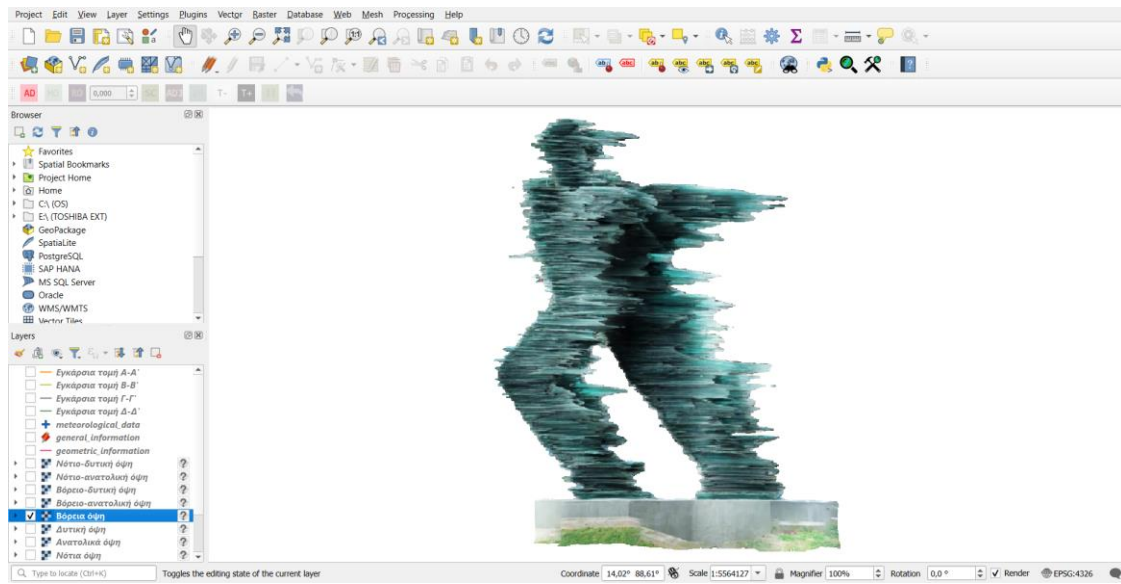
Σχήμα 5.14. Απεικόνιση της δυτικής όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.



Σχήμα 5.15. Απεικόνιση της ανατολικής όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.



Σχήμα 5.16. Απεικόνιση της νότιας όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.



Σχήμα 5.17. Απεικόνιση της βόρειας όψης του γλυπτού, σε περιβάλλον QGIS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι:

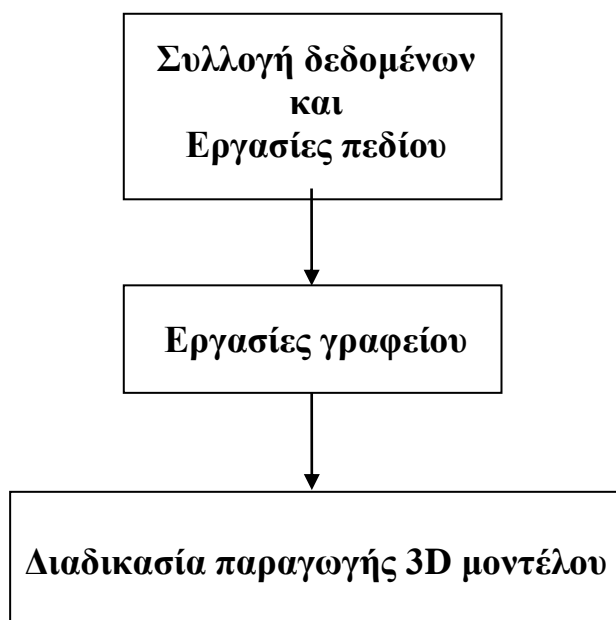
- η ψηφιακή δημιουργία του τριδιάστατου (3D) μοντέλου του γλυπτού Δρομέας του διάσημου Έλληνα γλύπτη Κώστα Βαρώτσου
- η δημιουργία ψηφιακών σχεδίων των τομών του καθώς και
- η δημιουργία μιας ψηφιακής Βάσης Δεδομένων για το γλυπτό, στην οποία θα μπορεί να παρεμβαίνει ο χρήστης και να ενημερώνει ή να επεξεργάζεται τα δεδομένα της.

Ξεκινώντας το εγχείρημα αυτό, είναι απαραίτητη η συνειδητοποίηση και αποδοχή της σπουδαιότητας της διασφάλισης της πολιτισμικής κληρονομιάς και της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων, κτηρίων και γενικότερα έργων καθώς βρίσκει μεταξύ άλλων εφαρμογή σε πολλούς επιστημονικούς τομείς. Με αυτόν τον τρόπο, καθίσταται εφικτή η παρακολούθηση της πορείας «ζωής» ενός έργου και των φθορών, παρεμβάσεων ή καταστροφών που μπορεί να έχει υποστεί. Η σύνταξη σχεδίων κατόψεων, όψεων και τομών για ένα μνημείο επιτρέπουν την καταγραφή λεπτομερειών και διευκολύνουν την ανάλυσή του με σκοπό τη διεξαγωγή εργασιών συντήρησής ή αναστήλωσής, ακόμη και ολικής ανακατασκευής του, αν ποτέ καταστεί απαραίτητο. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων ή γενικότερα αντικειμένων είναι i) η αποτύπωση με τοπομετρικές μεθόδους, ii) η αποτύπωση με τοπογραφικές μεθόδους και iii) η αποτύπωση με φωτογραμμετρικές μεθόδους. Όπως είναι αναμενόμενο, το βέλτιστο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται από το συνδυασμό των τριών προαναφερθέντων μεθόδων ενώ επίσης απαραίτητη είναι η μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων αυτών με ειδικά λογισμικά.

Οι φωτογραμμετρικές διαδικασίες που εξετάστηκαν στη παρούσα διπλωματική εργασία για την επίτευξη του πρώτου παραπάνω σκοπού, στηριζόντουσαν στην αρχή της αντίστροφης μηχανικής. Ο όρος αντίστροφη μηχανική (Reverse Engineering) αναφέρεται στη διαδικασία παραγωγής ψηφιακών μοντέλων και σχεδίων ήδη υπαρχόντων τριδιάστατων αντικειμένων με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, μετρήσεων και CAD (Computer-Aided Design) λογισμικών. Παρακάτω

παρουσιάζεται σε μορφή διαγράμματος ροής τα βασικά στάδια ανακατασκευής ενός τριδιάστατου ψηφιακού μοντέλου.

Διάγραμμα 6.1. Διάγραμμα ροής γενικών βημάτων δημιουργίας 3D μοντέλου ενός αντικειμένου.



Για την περίπτωση του γλυπτού του Δρομέα, δεν είναι δυνατό να καλυφθούν όλες οι παραπάνω απαραίτητες διεργασίες από ένα άτομο στον περιορισμένο χρόνο μιας διπλωματικής εργασίας λόγω του μεγάλου ύψους και της πολυπλοκότητας του γλυπτού. Για το λόγο αυτό η παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται και αποτελεί συνέχεια προηγούμενων εργασιών μιας ομάδας Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής του ΕΜΠ που είχαν ασχοληθεί με τη συλλογή των μετρήσεων στο πεδίο και τη δημιουργία του πρωταρχικού νέφους σημείων.

Κατά το στάδιο της διαδικασίας παραγωγής του τριδιάστατου ψηφιακού μοντέλου του γλυπτού, εξετάστηκε η χρήση τριών τοπογραφικών – φωτογραμμετρικών λογισμικών που ενδείκνυνται για τέτοιου είδους σκοπούς.

Το πρώτο λογισμικό που εξετάστηκε ήταν το Trimble Business Center (TBC) έκδοσης v5.20, της εταιρείας Trimble, το οποίο είναι ιδανικό για την επεξεργασία, ανάλυση, επίλυση και συνόρθωση δεδομένων που προέρχονται από τοπογραφικά όργανα κατά τις μετρήσεις στο πεδίο, καθώς επίσης και για την παραγωγή σχεδιαστικών πακέτων (CAD). Το

εγχείρημα αυτό όμως δεν είχε την αναμενόμενη επιτυχία, διότι αποδείχθηκε από τα εργαλεία και τις εντολές που διαθέτει ότι είναι ικανό για τη δημιουργία τριδιάστατων επίπεδων επιφανειών (mesh), αλλά χωρίς πολλές ακμές και πολύπλοκες γεωμετρίες, κάτι το οποίο προφανώς δεν συνάδει με το γλυπτό του Δρομέα. Επιπλέον, η ιδιότητα του λογισμικού για επεξεργασία υψηλής ακρίβειας των δεδομένων που δέχεται, σε συνδυασμό με τα αναπόφευκτα εσφαλμένα σημεία που δημιουργούνται στο νέφος σημείων λόγω της ανακλαστικής ιδιότητας των γυάλινων πλακών από τις οποίες απαρτίζεται το γλυπτό και της σκόνης που είχε συσσωρευτεί πάνω τους, κατέστησαν το λογισμικό TBC ακατάλληλο για την ανακατασκευή του παρόντος τριδιάστατου μοντέλου.

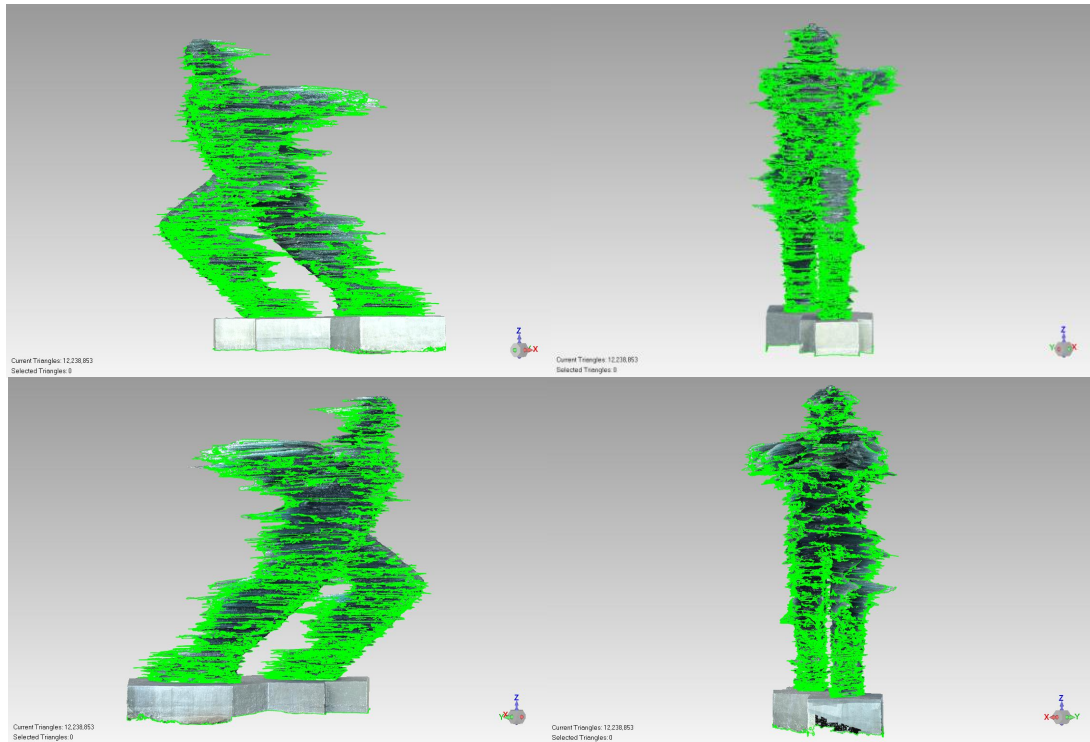
Το δεύτερο λογισμικό που εξετάστηκε ήταν το λογισμικό Geomagic Wrap της εταιρείας 3D Systems, το οποίο επεξεργάζεται και μετατρέπει δεδομένα που προέρχονται από συσκευές σαρώσεων σε τριδιάστατα πολυγωνικά μοντέλα ή μοντέλα επιφανειών. Ως δεδομένα εισόδου, χρησιμοποιήθηκε το νέφος σημείων που απεικόνιζε το γλυπτό του Δρομέα και είχε ληφθεί με τη χρήση του πολυγεωδαιτικού σταθμού Trimble SX10, ο οποίος συνδυάζει την τοπογραφία, τις εικόνες και την 3D σάρωση, αφού έχει ενσωματωμένα χαρακτηριστικά ενός ταχύτατου laser scanner.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ανακατασκευή του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού ήταν τα εξής:

α) Διαδικασία καθαρισμού θορύβου για την απομάκρυνση της περιττής πληροφορίας (θορύβου) και τον διαχωρισμό του νέφους σε τέσσερα τμήματα (και στη συνέχεια σε 12 υπο-τμήματα) με σκοπό την καλύτερη διαχείρισή του και εξοικονόμηση χρόνου.

β) Διαδικασία δημιουργίας πολυγωνικής επιφάνειας (Wrap), στην οποία το κάθε υπο-τμήμα υποβλήθηκε ξεχωριστά και έπειτα έλαβε επιπλέον αυτόματα και χειροκίνητη διόρθωση της γεωμετρίας του και απομάκρυνσης εσφαλμένων τριγωνικών επιφανειών.

γ) Διαδικασία συνένωσης (Combine) όλων των παραπάνω υπο-τμημάτων σε ένα ενιαίο τριδιάστατο μοντέλο τριγωνικού πλέγματος, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 6.1. Απεικόνιση των τεσσάρων βασικών όψεων του τριδιάστατου μοντέλου του γλυπτού, σε περιβάλλον Geomagic Wrap.

δ) Διαδικασία γεωαναφοράς όπου δεν πραγματοποιήθηκαν περαιτέρω ενέργειες καθώς το νέφος σημείων βρισκόταν ήδη προσανατολισμένων στο τοπικό σύστημα αναφοράς του.

ε) Διαδικασία απόδοσης υφής, η οποία δεν επέφερε τα επιθυμητά αποτελέσματα λόγω της αδυναμίας ενσωμάτωσης των διαθέσιμων αεροφωτογραφιών στο λογισμικό και αποτυχίας περαιτέρω προσπάθειας εφαρμογής τους στο μοντέλο.

Για τον παραπάνω λόγο αποτυχίας της (ε) διαδικασίας αλλά και λόγω του ότι το μοντέλο εμφάνιζε αδυναμία στη γεωμετρία αλλά και στην οπτικοποίησή του σε άλλα λογισμικά παρόμοιας φύσεως, απορρίφθηκε και το συγκεκριμένο τριδιάστατο μοντέλο και λογισμικό επεξεργασίας επειδή παράγαγε αποτέλεσμα κατώτερο του επιθυμητού.

Το τρίτο και τελευταίο λογισμικό που εξετάστηκε (υπο-κεφάλαιο 3.3.3.) ήταν το λογισμικό Metashape (Professional) της εταιρείας Agisoft, το οποίο ενσωματώνει τεχνολογίες μηχανικής εκμάθησης με σκοπό, μεταξύ άλλων, την παραγωγή 3D ψηφιακών μοντέλων με υφή, την παραγωγή αραιού και πυκνού νέφους σημείων και ορθοφωτογραφιών. Στο λογισμικό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου οι 615

αεροφωτογραφίες που πάρθηκαν με το μη Επανδρωμένο Εναέριο Όχημα UAV DJI Phantom 4 RTK, ενώ δεν χρησιμοποιήθηκαν καθόλου τα δεδομένα από το laser scanner. Το λογισμικό Metashape της Agisoft χρησιμοποιεί τη μέθοδο της πολυεικονικής ανακατασκευής για τη δημιουργία τριδιάστατων ψηφιακών μοντέλων από τη χρήση εικόνων με επαρκή επικάλυψη μεταξύ τους. Μέρος των δοκιμαστικών διεργασιών βελτιστοποίησης του αποτελέσματος, αποτελούσαν μεταξύ άλλων η δοκιμή εφαρμογής μασκών στις εικόνες για τον περιορισμό της ενδιαφέρουσας πληροφορίας που περιείχαν (δηλαδή μόνο του γλυπτού και όχι κτηρίων, δέντρων, κτλ.), η δοκιμή διαφόρων τιμών ποιότητας και αριθμού πολυγωνικών επιφανειών κατά τη δημιουργία του πλέγματος (mesh) και η εναλλαγή στο μέγεθος του χάρτη υφής, ο οποίος σχετίζεται με την ανάλυση της τελικής μορφής της υφής του μοντέλου.

Μετά από τη σύγκριση των θετικών και των αρνητικών χαρακτηριστικών μέσω της διερεύνησης της εσωτερικής και της εξωτερικής ακρίβειας τόσο του μοντέλου του υπο-κεφαλαίου 3.3.2 όσο και του μοντέλου υπο-κεφαλαίου 3.3.4., κρίθηκε πως το πρόσφορο μοντέλο για χρήση σε περαιτέρω διαδικασίες και έργα ήταν αυτό από το λογισμικό Metashape (Pro).

Οι βασικότεροι λόγοι αυτής της απόφασης ήταν η ορθότερη οπτικά υφή που διέθετε συγκριτικά με το μοντέλο του Geomagic, η απόδοση περισσότερων στοιχείων στο εσωτερικό του γλυπτού και παρόλο που πολλές από τις απολήξεις του γλυπτού δεν αποδόθηκαν λόγω πιθανώς του λεπτού τους πάχους ή της υπερβολικής ανάκλασης του ηλίου, το γεγονός αυτό μπόρεσε να παραλειφθεί συγκριτικά με τις αδυναμίες που παρουσίαζε το μοντέλο από το λογισμικό Geomagic Wrap.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής της διαδικασίας της πολυεικονικής ανακατασκευής που ακολουθεί το λογισμικό Metashape της εταιρείας Agisoft για την παραγωγή τριδιάστατων μοντέλων με τη χρήση εικόνων. Σημειώνεται πως στη παρούσα διπλωματική, εξαιρέθηκε το στάδιο της παραγωγής του πυκνού νέφους σημείων διότι κρίθηκε πιο αποδοτικό το αποτέλεσμα για την παραγωγή του πολυγωνικού πλέγματος με τη χρήση των χαρτών βάθους (όπως αναλύεται στο υπο-κεφάλαιο 2.3.5).

Διάγραμμα 6.2. Διάγραμμα ροής παραγωγής 3D μοντέλου στο λογισμικό Metashape της εταιρείας Agisoft.



Επόμενος στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η παραγωγή τομών για το βέλτιστο τριδιάστατο μοντέλο. Οι τομές, αποτελούν έναν από τους βασικούς τύπους 2D σχεδίων μαζί με τις κατόψεις, τα αξονομετρικά και προοπτικά σχέδια καθώς και τα αυτοσχέδια υπαίθρου. Συγκεκριμένα, τα σχέδια τομών αποδίδουν σημεία λεπτομέρειας ενός αντικειμένου ενδιαφέροντος (κτήριο, μνημείο, γλυπτό, κτλ.), μετατρέπουν τις μη ορατές ακμές σε ορατές αποκαλύπτοντας τον εσωτερικό του χώρο και η ύπαρξή τους είναι απαραίτητη για την γεωμετρική τεκμηρίωση τους καθώς και την παρατήρηση αλλαγών και μετακινήσεων στη διάρκεια του χρόνου με συγκρίσεις και ελέγχους των παλαιών με τα νέα σχέδια.

Αρχικά, από το λογισμικό Metashape (Pro) ελήφθησαν 3 εγκάρσιες τομές του γλυπτού και 1 τομή κατά μήκος του σε μορφή ορθοφωτογραφιών. Έπειτα η παραγωγή των τομών πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό CIVIL 3D (2023) της εταιρείας Autodesk, στο οποίο τοποθετήθηκαν και γεωαναφέρθηκαν οι ορθοφωτογραφίες σε τοπικό σύστημα αναφοράς προκειμένου να τους αποδοθεί η κατάλληλη κλίμακα και στροφή. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στο 4^ο Κεφάλαιο.

Τέλος, η γεωμετρική τεκμηρίωση του γλυπτού του Δρομέα ολοκληρώνεται με την δημιουργία μιας απλής Βάσης Δεδομένων για αυτό. Στη Βάση αυτή ο χρήστης (ή όποιος έχει την αρμοδιότητα) μπορεί να επεμβαίνει και να ανανεώνει, να προσθέτει ή να διαγράφει πληροφορίες που σχετίζονται με το γλυπτό. Η Βάση Δεδομένων αυτή υλοποιήθηκε στο λογισμικό QGIS (έκδοσης 3.32.0) με τη χρήση ορθοφωτογραφιών από διαφορετικές οπτικές γωνίες του γλυπτού.

6.2. Προτάσεις

Παρακάτω εμφανίζονται ορισμένες ιδέες αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας σε διάφορες εφαρμογές ή επεκτάσεις της σε άλλες διπλωματικές ή επιστημονικές εργασίες.

6.2.1. Δυνατότητες εμπορικής αξιοποίησης

- ✓ Δημιουργία «ψηφιακού αποθετηρίου» τεκμηρίωσης εκθεμάτων μουσείων ή αρχαιολογικών χώρων καθώς και έργων τέχνης (π.χ.

αγαλμάτων). Μία τέτοια ευρεία εφαρμογή θα μπορούσε ενδεχομένως να χρηματοδοτηθεί, στο πλαίσιο του Υπ.Πολιτισμού, από σχετικά Ευρωπαϊκά προγράμματα. Σχετική πρωτοβουλία έχει αναπτυχθεί με το έργο Europeana (www.europeana.eu) [78] που βρίσκεται σε εξέλιξη και το οποίο περιλαμβάνει διαφόρων βαθμών και ειδών ψηφιοποίηση σημαντικών μνημείων και αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς από ολόκληρη την Ευρώπη.

- ✓ Συνεργασία με Ηλεκτρολόγους Μηχανικούς - Μηχανικούς Ηλεκτρονικών Υπολογιστών καθώς και Ιατρούς για την ανάπτυξη ανάλογου λογισμικού και μεθοδολογιών με σκοπό την ψηφιακή απεικόνιση εσωτερικών οργάνων του ανθρώπινου σώματος για χρήση σε προσομοίωση εγχειρήσεων, ιατρικούς εκπαιδευτικούς σκοπούς, κτλ. Οι μετρήσεις και το «νέφος σημείων» στην περίπτωση αυτή, θα προέρχεται από βιοϊατρικό εξοπλισμό ιατρικών απεικονίσεων (medical imaging modalities) όπως είναι ο Αξονικός Τομογράφος (CR), ο Μαγνητικός Τομογράφος (MRI), τα ακτινολογικά μηχανήματα (X-Ray), τα μηχανήματα Υπερήχων (US), τα μηχανήματα Πυρηνικής Ιατρικής (γ-Camera), κτλ.
- ✓ 3D ρεαλιστική εκτύπωση ακριβείας διαφόρων διαστάσεων ομοιωμάτων αγαλμάτων με ενδεχόμενο τουριστικό ενδιαφέρον (συνεργασία με Μηχανολόγους και τριδιάστατο εκτυπωτή καθώς και διαφόρων υλικών 3D εκτύπωσης).

6.2.2. Επεκτάσεις σε άλλες διπλωματικές ή επιστημονικές εργασίες

- ✓ Συνεργασία με Μηχανολόγους Μηχανικούς για την πραγματοποίηση θερμικών προσομοιώσεων στο γλυπτό του Δρομέα με χρήση ειδικών μετρήσεων.
- ✓ Συνεργασία με Ηλεκτρολόγους Μηχανικούς - Μηχανικούς Ηλεκτρονικών Υπολογιστών για την ανάπτυξη πληρέστερης και λεπτομερέστερης Βάσης Δεδομένων με τα χαρακτηριστικά των υπό μελέτη αντικειμένων, καθώς και εύχρηστης διεπαφής χρήστη (User Interface) για το χειρισμό και διαχείριση της Βάσης αυτής.
- ✓ Εργασία σύγκρισης των δυνατοτήτων διαφόρων τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών λογισμικών επεξεργασίας δεδομένων για

διαφόρων ειδών αντικειμένων (μεγάλου - μικρού μεγέθους, κανονικής - ακανόνιστης εμφάνισης, εκτεθειμένα σε εξωτερικό χώρο ή χώρο μουσείου, μεγάλων χώρων ανοικτών ή κλειστών, διαφόρων συνθηκών φωτισμού ή περιβάλλοντος, κτλ.) και εξεύρεση της καταλληλότητας του κάθε λογισμικού αναλόγως του σκοπού επεξεργασίας.

6.2.3. Διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης ή βελτίωσης προβλημάτων της παρούσας εργασίας

- ✓ Χρήση του υπερσύγχρονου Συστήματος μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους με ενσωματωμένο laser scanner LEICA BLK2FLY για την ταυτόχρονη συλλογή δεδομένων σάρωσης και αεροφωτογραφιών από την ίδια εταιρεία (διευκόλυνση στη μετέπειτα επεξεργασία και συσχετισμό δεδομένων).
- ✓ Χρήση διαφορετικών λογισμικών με περισσότερες δυνατότητες για την παραγωγή της πολυγωνικής/τριγωνικής ψηφιακής επιφάνειας του γλυπτού.
- ✓ Χρήση διαφορετικού λογισμικού που θα διέθετε ταυτόχρονα τη δυνατότητα τριδιάστατης παρουσίασης του γλυπτού (δυνατότητες περιστροφής, zoom, αλλαγής γωνίας θέασης, κτλ) και τη δημιουργία Βάσης Δεδομένων για αυτό, όπως για παράδειγμα του λογισμικού Sketchfab (παραδείγματα χρήσης του λογισμικού αναφέρονται στην ιστοσελίδα [78]).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

	X	Y	Z
1	107.241	84.322	17.657
2	107.231	84.342	17.571
3	107.273	84.253	17.352
4	106.893	85.076	16.779
5	107.115	84.596	16.782
6	107.289	84.219	16.627
7	107.341	84.107	16.452
8	107.397	83.986	16.313
9	107.461	83.888	16.006
10	107.401	84.018	15.811
11	107.436	83.942	15.584
12	107.468	83.875	15.502
13	107.294	84.250	15.204
14	107.301	84.235	15.101
15	107.307	84.222	14.852
16	107.253	84.339	14.647
17	107.298	84.242	14.383
18	107.333	84.166	14.265
19	107.334	84.164	14.154
20	107.369	84.088	13.905
21	107.364	84.098	13.730
22	107.390	84.042	13.556
23	107.404	84.011	13.401
24	107.311	84.213	13.242
25	108.247	82.193	13.143
26	107.880	82.984	12.874
27	107.871	83.004	12.473
28	107.869	83.009	12.358
29	108.010	82.705	12.022
30	107.879	82.987	11.905
31	107.846	83.058	11.716
32	107.841	83.070	11.573
33	107.737	83.294	11.303

34	107.803	83.152	11.156
35	107.840	83.072	11.008
36	107.845	83.060	10.839
37	107.724	83.322	10.832
38	107.567	83.662	10.692
39	105.795	81.093	14.096
40	105.588	81.202	13.924
41	105.588	80.910	13.738
42	105.552	80.827	13.601
43	105.733	80.706	13.346
44	105.859	80.921	13.152
45	105.912	81.244	12.913
46	106.103	81.282	12.609
47	106.280	81.755	12.430
48	106.351	81.654	12.365
49	106.528	81.825	12.182
50	106.618	81.662	12.087
51	106.765	82.153	11.848
52	106.878	82.332	11.668
53	106.996	82.302	11.492
54	107.029	82.512	11.307
55	107.425	82.553	11.086
56	107.404	82.745	11.016
57	107.433	82.724	11.001
58	107.487	82.779	10.848
59	107.491	82.770	10.847
60	111.609	86.782	10.912
61	111.649	86.878	11.197
62	111.181	87.247	11.484
63	111.163	86.701	11.650
64	110.384	86.788	12.225
65	110.071	86.559	12.357
66	110.227	85.909	12.821
67	110.162	86.226	13.294
68	109.496	86.652	13.317
69	109.789	85.793	13.639

70	109.213	85.022	14.882
71	108.272	85.714	15.081
72	108.901	85.245	15.593
73	108.829	85.436	15.691
74	110.627	83.358	16.604
75	111.712	83.752	16.914
76	111.852	84.263	17.081
77	112.007	83.797	17.434
78	111.348	83.944	17.432
79	108.922	86.129	16.911
80	109.345	86.563	17.162
81	109.544	87.036	17.184
82	109.442	86.956	17.360
83	108.966	86.432	17.479
84	108.714	86.237	17.512
110	109.608	85.006	11.064
111	109.415	84.872	11.291
112	109.662	85.058	11.518
113	109.515	84.957	11.655
114	109.302	84.684	11.963
115	109.003	84.368	12.179
116	109.008	84.328	12.429
117	108.979	84.305	12.623
118	108.552	84.037	12.841
119	108.446	83.833	13.024
120	108.352	83.622	13.244
121	107.959	83.382	13.553
122	107.768	83.253	13.818
123	107.858	83.092	14.080
124	109.444	83.746	10.882
125	109.247	83.590	11.042
126	109.419	83.570	11.218
127	109.405	83.565	11.534
128	108.077	82.347	11.759
129	107.824	82.082	12.155
130	107.120	81.327	12.380

131	107.558	81.782	12.621
132	108.414	82.251	13.141
133	107.765	81.821	13.480
134	107.711	81.791	14.119
135	108.860	82.653	14.381
136	108.992	83.197	14.988

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αζαριάδης-Τοπάλογλου Φίλιππος & Σοφία Κυρατζή, Τριδιάστατη Ψηφιακή Ανακατασκευή Επιφανειών (Αντίστροφη Μηχανική), 2023, pp 259-310.
2. Αλεξαντωνάκης Π., Χρήση επίγειου σαρωτή laser στην αποτύπωση παραμορφώσεων σιδηροδρομικού οχήματος λόγω σύγκρουση, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2012, Διπλωματική εργασία.
3. Αρχοντάκης, Γ., Βλάχου, Μ., Αραμπατζή, Ο., Παγούνης, Β., Ο συνδυασμός γεωδαιτικών τεχνικών στις αποτυπώσεις μνημείων. Εφαρμογή στο Ρωμαϊκό Ωδείο Πάτρας, ΧΩΡΟ-ΓΡΑΦΙΕΣ, Τόμος 3, Αρ 1, 2012.
4. Βαβουρανάκης Γ., Εικόνα και αρχαιολογία. Η περίπτωση της προϊστορικής αρχιτεκτονικής. Μέρος Α', ΕΚΠΑ, Αθήνα, 2016.
5. Βέργος Κ., Διερεύνηση και αξιολόγηση μεθοδολογιών συνένωσης νεφών σημείων, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2015, Διπλωματική εργασία.
6. Βλάχου Μ., Γεωμετρική Τεκμηρίωση Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών Τοπογραφική Αποτύπωση-Αποτύπωση Ψηφιδωτών, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2012, Bachelor's thesis.
7. Δελτσίδης Π., Ανάπτυξη μοντέλου γεωμετρικής διόρθωσης δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2016, Διδακτορική διατριβή.
8. Δρακωνάκης Γ., Μυλωνάς Α., Τρύφωνα Μ., Ψωμαδάκη Σ., Αγραφιώτης Π., & Γεωργόπουλος Α., Διερεύνηση βαθμονόμησης ψηφιακής βιντεοκάμερας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2014, 5ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών.
9. Ηλιοδρομίτης Α., Ανάλυση της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα και μελέτη του προσδιορισμού της θέσης σημείων στο χώρο, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2008, Μεταπτυχιακή εργασία.
10. Ιωαννίδης Χ., Βερυκόκου Σ., Σοϊλέ Σ., Αεροτριγωνισμός, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2023-24.

11. Ιωαννίδης Χ., Βερυκόκου Σ., Σοϊλέ Σ., Ορθοφωτογραφία, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2023-24.
12. Ιωαννίδης Χ., Βερυκόκου Σ., Σοϊλέ Σ., Πολυεικονικές επιλύσεις Υπολογισμός Δομής από Κίνηση (Structure from Motion – SfM), Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2023-24.
13. Ιωαννίδης Χ., Βερυκόκου Σ., Σοϊλέ Σ., Πολυεικονική Φωτογραμμετρία – Θεωρία και Εφαρμογές, Αθήνα 2022, Κεφάλαια 6 έως 9.
14. Καληνυκτάκης Αντώνιος, Η Συμβολή των Φωτογραμμετρικών Αυτοματισμών στην Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2015, Διδακτορική διατριβή.
15. Κιτσάκης Δ., Συγκριτική αξιολόγηση φωτογραμμετρικών μεθόδων συλλογής τρισδιάστατης πληροφορίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2011, Διπλωματική εργασία.
16. Κοσμίδης Ε., Διερεύνηση γεωαναφοράς δορυφορικών εικόνων, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2012, Bachelor's thesis.
17. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Εφαρμοσμένη Γεωδαισία, Εκδόσεις Ζήτη, 2010, σελ. 395-399.
18. Νικολακάκης Σ., Γεωμετρική διερεύνηση και αξιολόγηση του αεροτριγωνισμού λήψεων από UAV με ταυτόχρονη χρήση παρατηρήσεων από δέκτη GNSS, Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής, ΠΑΔΑ, Αθήνα, 2021, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.
19. Νταγιάννης Γ., Προσδιορισμός συνάρτησης διόρθωσης της μέτρησης μήκους σε εξωτερικό χώρο χωρίς πρίσμα, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2017, Διπλωματική εργασία
20. Παπακόστα Χ., Διερεύνηση Γεωαναφοράς Ιστορικών Αεροφωτογραφιών μέσω της Ταύτισης Γραμμικών Στοιχείων, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2009, Bachelor's thesis.

21. Πατεράκη Μ., 05: Συστήματα συντεταγμένων, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2023-24.
22. Ραβανή Ν., Τρισδιάστατη μοντελοποίηση γλυπτού με χρήση ψηφιακών εικόνων, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2018, Διπλωματική εργασία.
23. Σταθοπούλου Ε-Κ., Ενσωμάτωση δεσμεύσεων στην πολυεικονική ανακατασκευή, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2022, Διδακτορική Διατριβή.
24. Συσκάκη Μαριάννα, Σύγχρονες μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης κτηρίων-εφαρμογή στο παλαιό σχολείο στη Χώρα Σικίνου, ΣΑΤΜ ΕΜΠ, Αθήνα, 2010, Bachelor's thesis.
25. Τρύφωνα Μ-Σ., Γεωμετρική τεκμηρίωση του Ωρολόγιου του Ανδρόνικου Κυρρήστου, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2015, Διπλωματική Εργασία.
26. Χρυσοστόμου Χ., Γεωμετρική τεκμηρίωση του Ι. Ν Παναγίας Ποδίθου στη Κύπρο με απλές φωτογραμμετρικές μεθόδους, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2008, Bachelor's thesis.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

27. Alfio, Vincenzo Saverio, Domenica Costantino, Massimiliano Pepe, "Influence of Image TIFF Format and JPEG Compression Level in the Accuracy of the 3D Model and Quality of the Orthophoto in UAV Photogrammetry.", *Journal of Imaging* 6.5, 2020: 30.
28. Boehler W., M. Vicent B., Marbs A., Investigating laser scanner accuracy, *The international archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, vol 34, Part 5, 2003, pp 696-701.
29. Briese Ch., Pfeifer N., and Haring A., *Laserscanning and photogrammetry for the modelling of the statue Marc Anton*, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, 2003.
30. Elmasri R., Navathe S.B., Θεμελιώδεις αρχές συστημάτων βάσεων δεδομένων – Τόμος Α', Εκδόσεις Δίαυλος, σελ. 27-41.
31. Hackeloeer A., Klasing K., Krisp J. M., Meng L., Georeferencing: a review of methods and applications, *Annals of GIS*, vol 20 No. 1, 2014, pp 61-69.
32. Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., Rosette, J., Structure from motion photogrammetry in forestry: A review, *Current Forestry Reports*, vol 5, 2019, pp 155-168.
33. Mahammad Sk Sazid, Ramakrishnan R., "GeoTIFF-A standard image file format for GIS applications.", *Map India*, 2003: 28-31.
34. Pollefeys Marc & Luc Van Gool, From images to 3D models, *Communications of the ACM* vol. 45 No. 7, 2002, pp 50-55.
35. Ponchio F., *Multiresolution structures for interactive visualization of very large 3D datasets*, Faculty of Mathematics/Computer Science and Mechanical Engineering, Clausthal University of Technology, 2009, Doctoral dissertation.
36. Schönberger J-L., Frahm J-M, Structure-from-Motion Revisited, *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2016.

37. Schuhmacher S., Böhm J., Georeferencing of terrestrial laserscanner data for applications in architectural modeling, University of Stuttgart, Institute for Photogrammetry, Germany, 2005.
38. Sokovic, Mirko, and J. Kopac, RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development, *Journal of Materials Processing Technology*, 175.1-3, 2006, pp 398-403.
39. Štroner M., Urban, R., Reindl, T., Seidl, J., Brouček, J., Evaluation of the georeferencing accuracy of a photogrammetric model using a quadrocopter with onboard GNSS RTK, *Sensors*, vol 20, No. 8: 2318, 2020.
40. Tryfona, M. S., Georgopoulos A., 3D image based geometric documentation of the Tower of Winds, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol 41, 2016, pp 969-975.
41. Varady T., Martin R-R., Cox J., Reverse engineering of geometric models—an introduction., *Computer-aided design*, vol 29, No. 4, 1997, pp 255-268.
42. Westoby M. J., Brasington J., Glasser N. F., Hambrey M. J., Reynolds J. M, ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications, *Geomorphology*, vol 179, 2012, pp 300-314.
43. Yamafune K., Using computer vision photogrammetry (Agisoft Photoscan) to record and analyze underwater shipwreck sites., Texas A&M University, Doctoral dissertation, 2016, pp 67-73.
44. Zhang Yu., Research into the engineering application of reverse engineering technology, *Journal of Materials Processing Technology* 139.1-3, 2003, pp 472-475.

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

45. <https://www.atlasobscura.com/places/dromeas> (last access, 04/2023)
46. <https://isharethese.com/dromeas-the-runner-a-modern-sculpture-in-athens-greece/> (last access, 04/2023)
47. <https://loutrakitv.gr/η-συναρπαστική-ιστορία-του-δρομέα-του/> (last access, 04/2023)
48. <https://www.kathimerini.gr/culture/athinaika-plus/561787903/o-dromeas-toy-varotsoy-epistrefei-apo-to-chilton-stin-plateia-omonoias/> (last access, 04/2023)
49. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F_%CE%94%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%AD%CE%B1%CF%82 (last access, 04/2023)
50. <https://urbanlife.gr/urban-city/o-dromeas-tou-kosta-varotsou/> (last access, 04/2023)
51. <https://www.mixanitouxronou.gr/i-peripetia-tou-dromea-to-entiposiako-glipto-tou-varotsou-pou-topothesithike-stin-omonia-epi-evert-ke-dichase-tin-kini-gnomi-kontepse-na-katedafisti-exetias-ton-ergon-tou-metro-alla-telika-me/> (last access, 04/2023)
52. <https://www.iefimerida.gr/news/484559/o-dromeas-toy-varotsoy-8metro-glypto-apo-gyali-poy-edioxe-metro-apo-tin-omonoia-eikones> (last access, 04/2023)
53. <https://www.newsbeast.gr/weekend/arthro/2298209/i-poria-tou-dromea-tis-omonias-pou-vrethike-sta-skoupidia-prin-ftasi-sto-hilton> (last access, 04/2023)
54. https://costasvarotsos.com/en_US/texts/long-cv-2/ (last access, 04/2023)
55. https://costasvarotsos.com/el_GR/texts/long-cv-2/ (last access, 04/2023)

56. <https://www.culturalsociety.gr/thessalonikeon-polis/diavazoyme-arthra/kostas-varotsos-to-ergo-soy-mporei-na-se-exafanisei/> (last access, 04/2023)
57. <https://architecture.web.auth.gr/%CE%B2%CE%B1%CF%81%CF%8E%CF%84%CF%83%CE%BF%CF%82-%CE%BA%CF%89%CE%BD%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%BD%CE%BF%CF%82/> (last access, 04/2023)
58. <https://www.youtube.com/watch?v=7h84pymLOYI> (last access, 04/2023)
59. <https://www.distaffmagazine.com/mikresistories/9297191> (last access, 04/2023)
60. <https://www.portraits.gr/art-philanthropy/nea-thesi-sto-torino-gia-tin-akrivi-olotita-tou-kosta-varotsou> (last access, 05/2023)
61. <https://www.akinita.com.cy/index.php/el/news/cyprus-news/692-o-poiitis-kosmei-tin-plateia-elftherias> (last access, 05/2023)
62. https://www.imerisia.gr/koinonia/39588_oi-peripeteies-toy-dromea-epistrefei-meta-apo-33-hronia-stin-omonoia (last access, 06/2023)
63. <https://sx10dot.trimble.com/#3> (last access, 10/2023)
64. <https://enterprise.dji.com/phantom-4-rtk> (last access, 10/2023)
65. <https://geosense.gr/assets/pdf/Datasheet%20-%20SX10%20Scanning%20Total%20Station%20-%20Eng.pdf> (last access, 11/2023)
66. <https://surveysolutionsgroup.co.uk/product/trimble-sx10/> (last access, 11/2023)
67. <https://www.geotech.gr/index.php/component/content/article/phantom-4-rtk-dioratike-noemosyne?catid=39&Itemid=101> (last access, 11/2023)

68. <https://www.cnc-step.com/digitizer-scanner-1000pro-touchprobe/> (last access, 11/2023)
69. <https://www.envisionintelligence.com/blog/3d-laser-scanner-market-2017-growth-prospects-2018-2024/> (last access, 11/2023)
70. <https://www.artec3d.com/3d-software/geomagic-wrap> (last access, 11/2023)
71. <https://www.geotech.gr/index.php/component/content/article/trimble-business-center-logismiko-grapheiou-gia-topographous?catid=33&Itemid=101> (last access 11/2023)
72. <https://mytrimbleprotected.com/knowledge/docushare/retrieve?handle=File-503698> (last access 11/2023)
73. <https://www.youtube.com/watch?v=fWcEg2hM-1M&t=124s> (last access, 02/2024)
74. <https://www.youtube.com/watch?v=je79gV8HsZI> (last access, 02/2024)
75. <https://www.youtube.com/watch?v=6eNcerxMUFQ> (last access, 03/2024)
76. <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/> (last access, 04/2024)
77. <https://www.agisoft.com/features/professional-edition/> (last access, 04/2024)
78. <https://www.europeana.eu/el/exhibitions/twin-it-3d-for-europes-culture?sfnsn=mo> (last access, 06/2024)