



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

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΡΩΜΑΪΚΟΥ ΩΔΕΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ-
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



ΑΡΧΟΝΤΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΤΟΥΣΑ

Ορθοδοξία Αραμπατζή

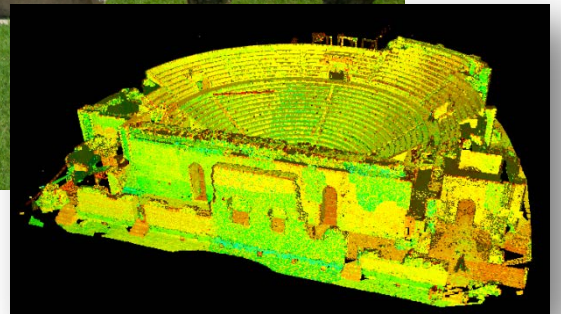
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2012



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF SURVEYING AND ENGINEERING
LABORATORY OF GENERAL GEODESY

**GEOMETRIC DOCUMENTATION OF PATRAS ROMAN ODEON -
3D MODELING**



ARCHONTAKIS GEORGIOS

DIPLOMA THESIS

SUPERVISOR

Orthodoxia Arabatzi

Lecturer N.T.U.A.

Athens, October 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΡΩΜΑΪΚΟΥ ΩΔΕΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ-
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Διπλωματική Εργασία

Αρχοντάκης Γεώργιος

Επιβλέπουσα

Αραμπατζή Ορθοδοξία
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την Επιτροπή:

Αραμπατζή Ο.
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Σταθάς Δ.
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Τσακίρη Μ.
Επ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Ι. Αρχοντάκης

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας 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 το συγγραφέα.

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

Τα Τοπογραφάκια

Τρία παιδιά ασίκικα
Τρία παιδιά αστέρια
Απ' την Αθήνα ήρθανε
Γεμάτα στα τα χέρια

Γιώργος και Χρήστος φίλοι μου
Και η γλυκιά Μαρία
Μπήκαν μεσ' το Ωδείο μας
Να κάμουν εργασία

Να χαρτογράψουν τα παιδιά
Ετούτο το Ωδείο
Παιδιά με τέλεια καρδιά
Ψυχή τους μεγαλείο

Φάχαν τον ήλιο τον καυτό
Πνίχθηκαν στον ιδρώτα
Να βγάλουν σχέδιο σωστό
Πρώτο από τα πρώτα

Έτσι κοσμούνε τα παιδιά
Και το Πολυτεχνείο
Ναι υποκλιθείτε όλοι σας
Δεν πρόκειται για αστείο.

Από τη συλλογή «Ταράξενα»
Πλακιάς Γεώργιος
Φύλακας Αρχαίου Ωδείου
4/6/2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Δε θα είχε νόημα η περαιτέρω ανάγνωση του παρόντος τεύχους, εάν πρώτα δεν εξέφραζα τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλαν, ο καθένας με τον τρόπο του, στην εκπόνηση της Διπλωματικής μου εργασίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της παρούσας διπλωματικής κ. Ορθοδοξία Αραμπατζή, Λέκτορα Ε.Μ.Π. για την εμπιστοσύνη που έχει δείξει στο πρόσωπο μου, την ολόπλευρη στήριξη της, τη μεθοδικότητα και επιστημονική συγκρότηση με την οποία επέβλεπε την εργασία μου. Η αίσθηση της συνεχούς επικοινωνίας και συνεργασίας ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλη Παγούνη, Αναπληρωτή Καθηγητή Τ.Ε.Ι. Αθήνας για τις σημαντικές συμβουλές του και την άριστη καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ακόμα ευχαριστίες ανήκουν στον Επιστημονικό Συνεργάτη, κ. Στέφανο Δογγούρη, για την άφογη συνεργασία και την πολύτιμη συμβολή του στη διαμόρφωση των τελικών παραγώγων.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω το προσωπικό της ΣΤ' ΕΦΟΡΕΙΑΣ ΠΡΟΪΣΤ. & ΚΛΑΣ. ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΠΑΤΡΕΩΝ για την έγκριση που μου παραχώρησε ώστε να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις στο χώρο του Ρωμαϊκού Ωδείου αλλά και το προσωπικό της εταιρείας METRICA για τη φιλική διάθεση και τις σημαντικές υποδείξεις του.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στη Χρυσούλα για τη συμπαράσταση και την ηρεμία που μου προσέδωσε για να μπορέσω να ολοκληρώσω τις σπουδές μου και κυρίως για την κατανόηση της, ιδιαίτερα τους τελευταίους μήνες της προσπάθειάς μου. Ευχαριστώ ακόμα τους φίλους και συναδέλφους μου, Μαρία και Χρήστο, για τη συμμετοχή και πολύτιμη βοήθεια τους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, καθώς και όλους τους φίλους και συμφοιτητές μου για τα όμορφα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε μαζί.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου, Γιάννη και Ελένη και στα αδέρφια μου, Χαρά και Γιάννη, για την ολόψυχη αγάπη, τη μεγάλη ηθική στήριξη και αμέριστη κατανόηση, που μου έχουν δείξει όλα αυτά τα χρόνια καθώς χωρίς τη βοήθεια τους, δεν θα είχα καταφέρει να υλοποιήσω τα πλείστα, από τα όσα έχω μέχρι σήμερα επιτύχει.

*Στους γονείς μου Γιάννη και Ελένη,
Τρεις απου συντέλεσαν, στο νήμα τση ζωής μου,
ο ένας ήταν ο Θεός, κι οι άλλοι οι γονείς μου.*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	16
ABSTRACT	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	20
1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	20
1.1. Το Ρωμαϊκό Ωδείο	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	25
2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ.....	25
2.1. Ορισμός Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης.....	26
2.1.1. Σκοπός Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης.....	26
2.2. Μέθοδοι Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης	27
2.2.1. Εμπειρικές Μέθοδοι	27
2.2.2. Τοπογραφικές Μέθοδοι.....	28
2.2.3. Φωτογραμμετρικές Μέθοδοι.....	29
2.2.4. Επίγεια Σάρωση Laser	31
2.2.5. Εναλλακτικές Μέθοδοι	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	34
3. Ο ΕΠΙΓΕΙΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ LASER.....	34
3.1. Τεχνολογία Του Τρισδιάστατου Σαρωτή.....	34
3.1.1. Περιγραφή και χαρακτηριστικά του οργάνου	36
3.2. Συνένωση Νεφών - "Registration"	39
3.3. Ακρίβεια Αποτύπωσης	43
3.4. Εφαρμογές Laser Scanner	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	52
4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ LASER SCANNER- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	52
4.1. Λογισμικό Cyclone.....	52

4.1.1.	Εξαγωγή αρχείων του Cyclone και εισαγωγή τους σε σχεδιαστικά προγράμματα ...	54
4.2.	Διαδικασία Μετρήσεων	55
4.3.	Συνένωση νέφους σημείων	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		69
5.	ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	69
5.1.	Απαλοιφή Θορύβου	69
5.2.	Προσανατολισμός Μοντέλου	71
5.3.	Δημιουργία Κατακόρυφης Τομής	73
5.4.	Δημιουργία όψεων	78
5.4.1.	Επεξεργασία του Point cloud	78
5.4.2.	Texture Map	81
5.4.3.	Προσαρμογή Επιφάνειας -Mesh	85
5.5.	Δημιουργία Video- Animation.....	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ		100
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		116

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Αεροφωτογραφία του Ρωμαϊκού Ωδείου της Πάτρα	22
Εικόνα 2: Τα μέρη του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών	24
Εικόνα 3: Αρχή λειτουργίας σαρωτών laser	35
Εικόνα 4: Γωνιακό εύρος σάρωσης στο Scan Station	38
Εικόνα 5: Registration χρησιμοποιώντας targets (στόχοι)	41
Εικόνα 6: Αποτύπωση ανισόπεδου κόμβου	46
Εικόνα 7: Αποτύπωση τούνελ	47
Εικόνα 8: Αποτύπωση Ρωμαϊκής Γέφυρας Πατρών	48
Εικόνα 9: Αποτύπωση ιστορικών κτιρίων	48
Εικόνα 10: Αποτύπωση σπηλαίου	49
Εικόνα 11: Αποτύπωση ανασκαφών	49
Εικόνα 12: Αποτύπωση εγκαταστάσεων υδροηλεκτρικού εργοστασίου	50
Εικόνα 13: Αποτύπωση δικτυώματος πυλώνα κινητής τηλεφωνίας	50
Εικόνα 14: Αποτύπωση γέφυρας μετά από σύγκρουση	51
Εικόνα 15: Αποτύπωση ατυχήματος - εικόνα από Scanner	51
Εικόνα 16: Το περιβάλλον του Cyclone	53
Εικόνα 17: Σκαρίφημα όδευσης	55
Εικόνα 18: Σχετική θέση σφαίρας-οργάνου στάση S27 (αριστερά) και στάση S31 (δεξιά)	58
Εικόνα 19: Θέσεις Scanner και στόχων	59
Εικόνα 20: Πίνακας αποτελεσμάτων συνένωσης νεφών (αριστερά) και Ιστόγραμμα σφαλμάτων συνένωσης (δεξιά) για τη στάση S16	62
Εικόνα 21: επικάλυψη επιμέρους σαρώσεων για τη στάση S16	62
Εικόνα 22: Πίνακας αποτελεσμάτων συνένωσης νεφών (αριστερά) και Ιστόγραμμα σφαλμάτων συνένωσης (δεξιά) για τη στάση S18	63
Εικόνα 23: επικάλυψη επιμέρους σαρώσεων για τη στάση S16	63
Εικόνα 24: Πίνακας αποτελεσμάτων συνένωσης νεφών (αριστερά) και Ιστόγραμμα σφαλμάτων συνένωσης (δεξιά) για τη στάση S19	64
Εικόνα 25: επικάλυψη επιμέρους σαρώσεων για τη στάση S16	64
Εικόνα 26: Εισαγωγή σαρώσεων για συνένωση	65

Εικόνα 27: Φωτογραφία και νέφος από τη στάση S3.....	66
Εικόνα 28: Νέφος από τη στάση S9.....	66
Εικόνα 29: Τρισδιάστατο μοντέλο Ωδείου	68
Εικόνα 30: Απαλοιφή Θορύβου με την εντολή "Fence"	70
Εικόνα 31: Τρισδιάστατο μοντέλο μετά την απαλοιφή του Θορύβου.....	71
Εικόνα 32: Δημιουργία Άξονα Χ.....	72
Εικόνα 33: Προσανατολισμός Ωδείου ως προς Άξονα Χ.....	72
Εικόνα 34: Τομή T2-2 στο CloudWorx.....	73
Εικόνα 35: Τομή T2-2 από το point cloud	74
Εικόνα 36: Alignment.....	75
Εικόνα 37: Τμήμα point cloud για την εφαρμογή mesh.....	76
Εικόνα 38: Εφαρμογή Basic Meshing.....	77
Εικόνα 39: Εφαρμογή Complex Meshing	77
Εικόνα 40: Εφαρμογή Tin Meshing	77
Εικόνα 41: Ψηφιοποίηση Βόρειας όψης εσωτερικού τοίχου	80
Εικόνα 42: Ψηφιοποίηση Νότιας όψης εξωτερικού τοίχου	80
Εικόνα 43: Βόρεια όψη O2-B εσωτερικού τοίχου	81
Εικόνα 44: Point cloud για την εφαρμογή Texture Map	82
Εικόνα 45: Φωτογραφία από ψηφιακή μηχανή για τη δημιουργία του Texture Map	82
Εικόνα 46: Επιλογή ομόλογων σημείων	83
Εικόνα 47: Texture Map	84
Εικόνα 48: Βόρεια όψη O1-B εσωτερικού τοίχου.....	85
Εικόνα 49: Point cloud πριν και μετά την εφαρμογή του mesh	86
Εικόνα 50: Τιμές ανακλαστικότητας τούβλου.....	87
Εικόνα 51: Τιμές ανακλαστικότητας μαρμάρου	87
Εικόνα 52: Απεικόνιση διαφορετικών υλικών με φυσικά χρώματα (αριστερά) και με mesh topo3 (δεξιά).....	88
Εικόνα 53: Νότια όψη εξωτερικού τοίχου Ωδείου με mesh	88
Εικόνα 54: Αδυναμία προσαρμογής επιφάνειας σε μη επίπεδο αντικείμενο	89
Εικόνα 55: Δημιουργία path για το εσωτερικό animation video	91
Εικόνα 56: Δημιουργία path για το εξωτερικό animation video	91
Εικόνα 57: Παράθυρο Color Map Parameters	92

Εικόνα 58: Σύγκριση τομών ως προς τις λεπτομέρειες των τοίχων.....	96
Εικόνα 59: Σύγκριση τομών ως προς την απόδοση της σκηνής	97
Εικόνα 60: Σύγκριση τομών ως προς την απόδοση των σκαλιών	97
Εικόνα 61: Έγκριση από τη ΣΤ' ΕΦΟΡΕΙΑ ΠΡΟΙΣΤ.& ΚΛΑΣ.ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ για την εκπόνηση Διπλωματικής Εργασίας	101
Εικόνα 62: Προϋπάρχον πολυγωνομετρικό δίκτυο	102
Εικόνα 63: Εξωτερικές γωνίες όδευσης.....	102
Εικόνα 64: Μήκη όδευσης.....	103
Εικόνα 65: ΟΓΣ Leica TCR 405	108
Εικόνα 66: Μηχανή Canon EOS 50D.....	112
Εικόνα 67: Φακός Canon 24105L	113
Εικόνα 68: Ίδρυση στάσεων για την τοποθέτηση σφαίρας	114
Εικόνα 69: Σάρωση από τη στάση Σ27	114
Εικόνα 70: Ειδικοί σφαιρικοί στόχοι για τη συνένωση των νεφών	115
Εικόνα 71: Σάρωση από τη στάση Σ3	115

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα Μεθόδων Συνένωσης Νεφών	42
Πίνακας 2: Συντεταγμένες κορυφών όδευσης	56
Πίνακας 3: Συντεταγμένες στάσεων για τη σάρωση του Ωδείου	57
Πίνακας 4: Συνοπτικός πίνακας για ΥΣ -ΥΟ κατά τη διάρκεια της σάρωσης	106
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά Scan Station 2.....	110
Πίνακας 6: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Canon EOS 5D για την εφαρμογή Texture Map	112
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά Φακού Canon 24105L	113

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι μείζονος σημασίας για την κάθε χώρα. Για το σκοπό αυτό υπάρχουν συμβάσεις και νόμοι που αφορούν στην προστασία και τη διάσωση του μνημειακού πλούτου.

Η Ελλάδα σε όλη την έκταση της αποτελείται από πλήθος μνημειακών συνόλων διαφόρων εποχών και τεχνοτροπιών, με αριθμητική υπεροχή των λατρευτικών μνημείων, από τους αρχαίους ναούς μέχρι τις χριστιανικές εκκλησίες που αποτελούν νεώτερα μνημεία. Η σύνταξη μέτρων διαχείρισης της εθνικής κληρονομιάς είναι ανάγκη επιτακτική. Η προστασία των μνημείων είναι συνταγματικά κατοχυρωμένη, με το άρθρο 24 του Συντάγματος του 1975 το οποίο αναφέρεται στην ανάμειξη και αποδοχή ευθύνης από το κράτος για την προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος.

Για την προστασία λοιπόν των μνημείων είναι απαραίτητη η γεωμετρική τεκμηρίωση τους, η οποία με τη σειρά της προϋποθέτει την ύπαρξη ενός λεπτομερούς υπόβαθρου, σε κατάλληλη μορφή και κλίμακα ώστε οι αρχαιολόγοι ή οι μηχανικοί που θα ασχοληθούν με τη συντήρηση ή αναστήλωση τους να έχουν όλη την πληροφορία που θα μπορέσει να τους φανεί χρήσιμη για οποιαδήποτε παρέμβαση. Η χρήση των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών Laser αποτελεί ένα εναλλακτικό και συνάμα νέο τρόπο αποτύπωσης των μνημείων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πλήρης και ορθή αποτύπωση ενός μνημείου αποτελεί τη βάση για μία επιτυχημένη παρέμβαση σε αυτό, με σκοπό την αποκατάσταση, την προστασία ή τη συντήρησή του. Στόχος της είναι η απόδοση στο χώρο των τριών διαστάσεων των χαρακτηριστικών του μνημείου, ώστε να γίνει αντιληπτή η κατάσταση στην οποία αυτό βρίσκεται και να ληφθούν οι απαιτούμενες αποφάσεις για περεταίρω ενέργειες σχετικές με το μνημείο.

Η πολυπλοκότητα των μνημείων καθώς και ο απαιτούμενος προς αυτά σεβασμός καθιστά τη Γεωμετρική Τεκμηρίωση αρκετά δύσκολη και επίπονη διαδικασία. Η χρήση τρισδιάστατων επίγειων σαρωτών laser αποτελεί έναν εναλλακτικό και καινοτόμο τρόπο στην αποτύπωση μνημείων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας στην αποτύπωση του Αρχαίου Ωδείου της Πάτρας.

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης όπου έγινε η εφαρμογή της μεθοδολογίας τρισδιάστατης σάρωσης, αναφέρονται κάποια ιστορικά στοιχεία και περιγράφεται το μνημείο και οι ιδιαιτερότητές του.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι παραδοσιακοί τρόποι αποτύπωσης μνημείων με τη χρήση μεθοδολογιών που κατά καιρούς έχουν εφαρμοστεί, με στόχο να διαπιστωθούν οι συναφείς αδυναμίες και οι ελλείψεις τους. Δίνονται κάποια παραδείγματα και επισημαίνονται κάποια προτερήματα της κάθε μεθόδου. Παράλληλα γίνεται μία πρώτη αναφορά στη μέθοδο τρισδιάστατης σάρωσης.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται λεπτομερής παρουσίαση του επίγειου τρισδιάστατου Laser Scanner. Αναφέρεται η αρχή λειτουργίας του, τα μέρη από τα οποία αποτελείται καθώς και οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν και καθορίζουν την ακρίβεια αποτύπωσης. Τέλος γίνεται αναφορά στο ευρύ πεδίο εφαρμογών της τρισδιάστατης σάρωσης.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία των μετρήσεων, η επεξεργασία των νεφών σημείων που δημιουργούνται, μέσω του λογισμικού Cyclone καθώς και η δημιουργία του τελικού τρισδιάστατου μοντέλου.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα παράγωγα που προκύπτουν από τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου: Δημιουργία κατακόρυφων τομών, όψεων, video περιήγησης μέσω των διαδικασιών επεξεργασίας.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα τελικά σχέδια του Ωδείου, συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την όλη εργασία και δίνονται κάποιες σκέψεις για περαιτέρω συνέχεια της.

ABSTRACT

The complete and correct documentation of a monument provides the basis for successful intervention in order to restore, protect and maintain its existence. The main objective is to demonstrate the features of the monument in a three dimensional pattern, realize its condition and then make decisions for further actions related to the monument. The complexity of the monuments and the respect that it is required towards them make Geometric Documentation a quite difficult and painful process to achieve. The use of three-dimensional terrestrial laser scanners is an alternative and innovative way to survey monuments. In this paper, this methodology is applied to imprint the Ancient Conservatory of Patras.

Chapter 1 presents the study area where the dimensional scan methodology was applied, mentions historical data of the monument and describes its peculiarities.

Chapter 2 presents the traditional ways of surveying monuments using methodologies that have occasionally been applied in order to identify the relevant weaknesses and shortcomings of the monuments. Furthermore, remarkable examples are given to highlight some of the advantages of each method. Introduction to the 3D scanning method is also presented in this chapter.

Chapter 3 gives a detailed presentation of the terrestrial 3D Laser Scanner. Basic principles of its operation are demonstrated as well as the parts of which it is composed and the factors that influence and determine the precision of the outcome. Finally, reference to the broad scope of three-dimensional scanning is involved in this chapter.

Chapter 4 describes in detail the process of measurement, the processing of the obscure points generated by Cyclone software and the creation of the final 3D model.

Chapter 5 presents the derivatives resulting from the creation of the three-dimensional model: creation of vertical sections, facades and video tour through the whole process.

Finally, Chapter 6 presents the final draft of the Conservatory summarizing the conclusions drawn from the entire process and exposing some thoughts for further research.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η Πάτρα είναι διάσπαρτη από Ρωμαϊκά μνημεία που βρίσκονται στο ιστορικό κέντρο της πόλης και αποτελούν ένα ενοποιημένο αρχαιολογικό χώρο μεγάλης ιστορικής σημασίας. Τα μνημεία αυτά είναι σύμβολα της ανάπτυξης της Πάτρας κατά την περίοδο της ρωμαιοκρατίας, καθώς αυτή την περίοδο έτυχε της εύνοιας της Ρώμης. Αυτά τα μνημεία είναι το Ρωμαϊκό Ωδείο, το Ρωμαϊκό Αμφιθέατρο, τα Ρωμαϊκά Νυμφαία, το Ρωμαϊκό Υδραγωγείο της Πάτρας και η Γέφυρα του Μείλιχου.

Το *Αμφιθέατρο* χτισμένο το 1ο μ.Χ. αιώνα κατά την εποχή του Δομητιανού, βρίσκεται κοντά στο ρωμαϊκό ωδείο και είναι μήκους 200μ και πλάτους 90μ. Στο στάδιο αυτό φιλοξενήθηκαν τα «Καισάρεια» αθλητικές εκδηλώσεις προς τιμήν του Καίσαρα, επ' ευκαιρίας των 100 ετών από την ίδρυση της αποικίας της Πάτρας.

Τα *Νυμφαία* αποτελούν δείγματα της έντονης ρωμαϊκής ζωής και της άμεσης επίδρασης των Ρωμαίων καθώς πρόκειται για κτίσματα του 4ου μΧ αιώνα όπου χρησιμοποιήθηκαν ως χώροι αναψυχής. Διέθεταν πίδακες νερού, κήπους και αργότερα χρησιμοποιήθηκαν ως ναοί και κοιμητήρια.

Το *Ρωμαϊκό Υδραγωγείο*, βρίσκεται στην περιοχή κοντά στο φρούριο υπό τη μορφή τεχνητού φράγματος και σήμερα αποτελεί μέρος της σύγχρονης δεξαμενής. Στο χώρο αυτό κατά την αρχαιότητα λατρεύονταν οι Νύμφες, θεότητες των υδάτων. Η αρχή λειτουργίας του βασιζόταν στην αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων.

Η *Γέφυρα του Μείλιχου* αποτελεί μέρος της στρατιωτικής ρωμαϊκής οδού Via Publica και βρίσκεται στην ανατολική είσοδο της Πάτρας στην οδό Αρέθα. Κατασκευάστηκε κατά το 2ο προς 3ο μ.Χ. αιώνα και είναι γνωστή ως γέφυρα του Πausανία καθώς από αυτή πέρασε ο Πausανίας κατά την περιοδεία του στην περιοχή.

Τέλος, η ιστορική πορεία της περιοχής και η επικοινωνία της με το μυκηναϊκό πολιτισμό (υπεύθυνο για τον πόλεμο της Τροίας) μαρτυρείται από την περιοχή Βούντενης, που αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μυκηναϊκές τοποθεσίες της Αχαΐας. Σε απόσταση 7 χιλιομέτρων βόρειο-ανατολικά της Πάτρας, αποτελεί πιθανότατα τον πυρήνα της προϊστορικής Πάτρας. Στην τοποθεσία αυτή διατηρείται νεκροταφείο με 45 μυκηναϊκούς τάφους. Το νεκροταφείο χρονολογείται ανάμεσα στα 1500 με 1100 π.Χ. και εκτείνεται σε περιοχή 80.000 τμ.

1.1. Το Ρωμαϊκό Ωδείο

Σύμφωνα με τον ιστορικό Πausanias, το Ωδείο της Πάτρας είναι το πλέον αξιόλογο από όλα τα Ωδεία της Ελλάδος, πλην αυτού του Ηρώδου του Αττικού στην Αθήνα, το οποίο είναι μεγαλύτερο σε μέγεθος και καλύτερο σε εμφάνιση. Πρόκειται για κτίσμα του 2ου μ.Χ. αιώνα, ερευνητές όμως το χρονολογούν είτε στο 1ο π.Χ. αιώνα, είτε στο 1ο μ.Χ. αιώνα. Κατατάσσεται στα ρωμαϊκά μνημεία και πιθανότατα ανεγέρθη από τον αυτοκράτορα Αύγουστο, στα χρόνια του οποίου η Πάτρα έγινε σημαντική, γι' αυτό και ευνόησε τους κατοίκους της ανακηρύσσοντας τους «ελεύθερους πολίτες». Είναι χτισμένο στη νότια πλαγιά του λόφου της ακρόπολης, και ήταν συνέχεια της αρχαίας αγοράς. Στο επάνω μέρος του μνημείου υπήρχε άγαλμα του Απόλλωνα, φτιαγμένο από λάφουρα του πολέμου κατά των Γαλατών, στον οποίο πήρε μέρος η Πάτρα ως σύμμαχος. Τον 3ο προς 4ο αιώνα, μεγάλο μέρος του Ωδείου καταστράφηκε, σαν συνέπεια πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια επιδρομής των Ετρούλων. Το δυστυχές είναι ότι μετά την πυρκαγιά, το μνημείο σκεπάστηκε και πάνω σε αυτό χτίστηκαν οικήματα. Αργότερα, το 1889 εξαιτίας τυχαίων εκσκαφών για αδρανή υλικά, αποκαλύφθηκε μέρος του μνημείου. Τα έτη 1938, 1943 και 1957 γίνονται σταδιακές ανασκαφές αποτέλεσμα των οποίων είναι η ανακάλυψη μερών του μνημείου. Αργότερα ξεκινούν και οι εργασίες αναστήλωσης του μνημείου, ώστε να πάρει την αρχική του μορφή.



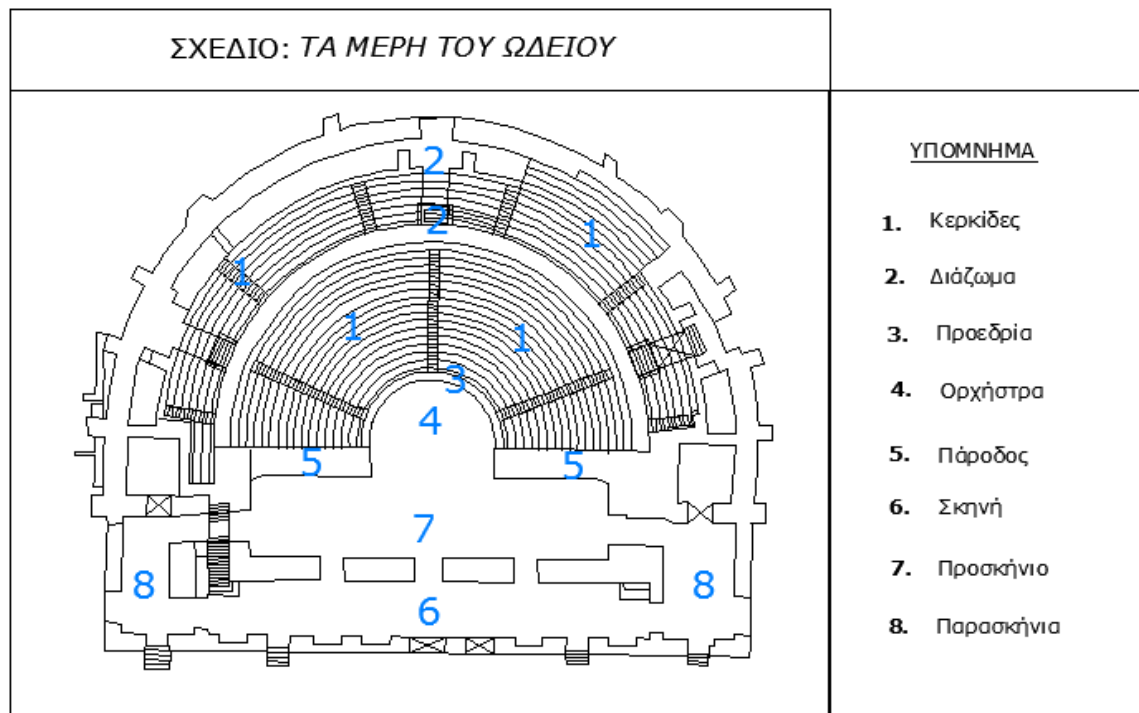
Εικόνα 1: Αεροφωτογραφία του Ρωμαϊκού Ωδείου της Πάτρα

ΠΗΓΗ: <http://www.diazoma.gr>

Το Ρωμαϊκό Ωδείο έχει όλα τα βασικά μέρη ενός Θεάτρου: κοίλο, ορχήστρα, προσκήνιο, σκηνή, παρασκήνια. Η χωρητικότητά του είναι περίπου 2.200 άτομα και σήμερα χρησιμοποιείται για πολιτιστικές εκδηλώσεις και κυρίως για παραστάσεις του Διεθνούς Φεστιβάλ της Πάτρας. Η σκηνή αποτελείται από υπερυψωμένη εξέδρα με χώρο όπισθεν αυτής για την προετοιμασία των ηθοποιών. Το κοίλο του θεάτρου δεν είναι λαξευτό, όπως συμβαίνει με άλλα θέατρα ούτε στηρίζεται σε κάποιο φυσικό αντέρεισμα, για τη στήριξη του χρειάστηκε να κατασκευαστεί αναλημματικός τοίχος, ο οποίος δεν σώζεται σε όλο του το ύψος. Το ανάλημα είναι κτισμένο με πέτρες και επενδυμένο με επάλληλες σειρές οπτόπλινθων κατά το ρωμαϊκό σύστημα *opus testaceum*, ενισχύεται δε κατά διαστήματα από ογκώδεις κτισμένους με τον ίδιο τρόπο πεσσούς. Το ίδιο οικοδομικό σύστημα συναντάται και στον τοίχο της πρόσοψης, καθώς και στα χωρίσματα της σκηνής και των παρασκηνίων.

Η πρόσοψη, που βλέπει προς το νότο, έχει πέντε ανοίγματα, εισόδους, προς τη σκηνή και δύο στα πλάγια προς τα παρασκήνια. Ο τοίχος της σκηνής προς την πλευρά του κοίλου φέρει οκτώ κόγχες, εκ των οποίων οι τέσσερις αψιδωτές και οι υπόλοιπες ορθογώνιες. Κόγχες φέρει και ο χαμηλός τοίχος του προσκηνίου απέναντι από την ορχήστρα. Η ορχήστρα είναι ημικυκλική με επένδυση από μαρμάρινες πλάκες και χωρίζεται από το κοίλο με επίσης μαρμάρινο χαμηλό θωράκιο.

Η είσοδος των θεατών στο θέατρο γίνεται από τρεις κτιστές κλίμακες, που ξεκινούν από την πίσω πλευρά του κοίλου και καταλήγουν στο διάζωμα. Το διάζωμα χωρίζει το κοίλο σε δύο μέρη. Το κάτω διάζωμα αποτελείται από τέσσερις κερκίδες με δεκαέξι σειρές καθισμάτων. Τρεις κλίμακες διευκολύνουν τη διακίνηση των θεατών στο κάτω μέρος. Το επάνω διάζωμα έχει επτά κερκίδες και σώζονται επτά σειρές καθισμάτων και ανάλογες κλίμακες. Ίσως υπήρχαν και άλλες σειρές και να καταστράφηκαν μαζί με το επάνω μέρος του αναλημματικού τοίχου. Τέλος, στο χώρο γύρω από το Ωδείο εκτίθενται σαρκοφάγοι, ψηφιδωτά, και άλλα αρχαία κομμάτια που μεταφέρθηκαν εκεί μετά την ανεύρεσή τους κατά τις αρχαιολογικές ανασκαφές της Πάτρας.



Εικόνα 2: Τα μέρη του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Η αναγκαιότητα της καταγραφής των ιστορικών μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς της ανθρωπότητας αιτιολογείται από τη σύσταση και λειτουργία διεθνών οργανισμών που έχουν σαν κύριο στόχο την προστασία και διατήρηση των μνημείων, που κατά πολλούς αποτελεί το θεμέλιο λίθο του πολιτισμού. Αυτό διαφαίνεται και από τον τίτλο του διεθνούς συνεδρίου που διοργανώθηκε το 2000 στην Κρακοβία όπου συστήθηκε και το καταστατικό της Διεθνούς Επιτροπής Διαχείρισης της Αρχαιολογικής Κληρονομιάς (ICAHM - Int'l Committee for Archaeological Heritage Management) με τίτλο "*Cultural Heritage as the Foundation of the Development of Civilisation*". Η ICAHM αποτελεί έναν από τους βασικούς κλάδους του ICOMOS δηλαδή του διεθνούς συμβουλίου των μνημείων και των τοποθεσιών (ICOMOS international Committee of Monuments and Sites) που έχει σαν στόχο τη διάσωση των πολιτιστικών αγαθών σε παγκόσμιο επίπεδο. Το ελληνικό τμήμα του ICOMOS δημιουργήθηκε μετά από πρωτοβουλία του ΤΕΕ το 1972 και έχει σαν κύριο στόχο τη διάσωση και προστασία των πολιτιστικών αγαθών τόσο στην Ελλάδα όσο και στο διεθνή χώρο. Συγκεκριμένα δραστηριοποιείται συστηματικά στην περιοχή της Νοτιοανατολικής Ευρώπης και της Μεσογείου προωθώντας διμερείς σχέσεις και συνεργασίες. Στην προσπάθεια της τεκμηρίωσης των μνημείων με τελικό στόχο τη διατήρησή τους, συμμετέχουν ειδικευμένοι επιστήμονες πολλών διαφορετικών ειδικοτήτων καθώς «η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων αποτελεί έναν επιστημονικό κλάδο ο οποίος πρέπει να αποτίνεται στη συνεργασία όλων των επιστημών και όλων των τεχνών που μπορούν να συνεισφέρουν στη μελέτη και τη διάσωση της πολιτιστικής κληρονομιάς» (άρθρο 2 της Διακήρυξης της Βενετίας).

2.1. Ορισμός Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Αποτύπωση είναι η λεπτομερής σχεδιαστική παρουσίαση των μνημείων, ώστε να αποδίδεται με πληρότητα η μορφή τους. Αντιθέτως, με τον όρο τεκμηρίωση νοείται η πλήρης καταγραφή και αρχειοθέτηση όλων των πληροφοριών που σχετίζονται με τα ιστορικά στοιχεία, τη γεωμετρική πληροφορία και την παθολογία του προς μελέτη μνημειακού τόπου. Επομένως ο όρος τεκμηρίωση εμπεριέχει τον όρο αποτύπωση, καθώς η τεκμηρίωση μιας κατασκευής εμπεριέχει τα δεδομένα της αποτύπωσης και τη διαδικασία προσδιορισμού της θέσης, του σχήματος και του μεγέθους της, τη δεδομένη χρονική στιγμή. Συνεπώς: *Η γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων είναι η διαδικασία λήψης, επεξεργασίας, αρχειοθέτησης και παρουσίασης των στοιχείων για τον καθορισμό της θέσης και της υπάρχουσας μορφής, σχήματος και μεγέθους ενός μνημείου στον τρισδιάστατο χώρο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή* (Γεωργόπουλος Α, 2008).

2.1.1. Σκοπός Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Σκοπός της γεωμετρικής τεκμηρίωσης είναι η παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης της κατασκευής. Είναι έργο των ειδικών μελετητών να αποκαλύψουν αν οι αποκλίσεις ή οι παραμορφώσεις που καταγράφονται με τη γεωμετρική τεκμηρίωση, είναι αποτέλεσμα δράσεων (φυσική φθορά, ανθρώπινες επεμβάσεις, σεισμοί, μικρομετακινήσεις εδάφους, κ.α.), αρχικών σφαλμάτων χάραξης και κατασκευής ή έκφραση της σχετικής ελευθερίας των δημιουργών. Η γεωμετρική τεκμηρίωση μπορεί να εξυπηρετεί σκοπούς θεωρητικής-επιστημονικής έρευνας, πρακτικούς, όπως η κάλυψη αναγκών μελετών προστασίας ή ακόμα και συστηματικούς, που αφορούν στην αρχειοθέτηση και προβολή των μνημείων.

2.2. Μέθοδοι Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Οι μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης-αποτύπωσης ενός μνημείου, καταταγμένες κατά αυξημένη απαίτηση σε τεχνολογικό εξοπλισμό και ειδικευμένο προσωπικό είναι η τοπομετρική, η τοπογραφική η φωτογραμμετρική και η αποτύπωση με επίγειο τρισδιάστατο σαρωτή. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας εισήχθησαν καινοτόμες μέθοδοι για τη Γεωμετρική Τεκμηρίωση, αν και ο καλύτερος τρόπος για την παραγωγή υψηλής ακρίβειας πλήρως ελεγχόμενης αποτύπωσης αντικειμένων, ειδικά σε μεγάλη κλίμακα, είναι ο συνδυασμός τους.

Οι βασικές λοιπόν μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια είναι οι εξής:

- Εμπειρικές
- Τοπογραφικές
- Φωτογραμμετρικές
- Σάρωση με χρήση τεχνικών laser
- Εναλλακτικές-υβριδικές (που αποτελούν συνδυασμό ή παραλλαγή των παραπάνω κλασικών μεθόδων)

2.2.1. Εμπειρικές Μέθοδοι

Πρόκειται για την απλούστερη διαδικασία συλλογής δεδομένων, η οποία υπακούει σε γενικούς γεωμετρικούς κανόνες. Η αρχική καταγραφή των μετρήσεων γίνεται σε σκαρίφημα και η μελλοντική μεταφορά των χαρακτηριστικών του μνημείου σε ψηφιακή μορφή, (ψηφιοποίηση) γίνεται σε ένα δεύτερο στάδιο με χειροκίνητη εισαγωγή των στοιχείων συνήθως σε ένα αρχείο σχεδίασης σε περιβάλλον AutoCAD. Οι μετρήσεις στηρίζονται σε μια αυθαίρετα ορισμένη αρχή και διεύθυνση ενός άξονα του συστήματος συντεταγμένων. Όλες οι μετρήσεις των σημείων αναφέρονται σε αυτές τις παραδοχές, ενώ είναι εξαιρετικά δύσκολη η καταγραφή ενός τρισδιάστατου (όχι επίπεδου) αντικειμένου καθώς η τρίτη διάσταση δεν είναι δυνατόν να προέλθει με απλά μέσα

γνωρίζοντας μόνο την αρχή και έναν από τους δύο άξονες του συστήματος συντεταγμένων.

Αν και η συγκεκριμένη μέθοδος υστερεί σε ακρίβεια και επιστημονικότητα από τις άλλες τεχνικές ωστόσο ενδείκνυται πολλές φορές χάριν της ταχύτητας και του χαμηλού κόστους, όταν βέβαια οι απαιτήσεις ακρίβειας του τελικού προϊόντος δεν είναι μεγάλες.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μεθόδου είναι:

- η υποκειμενική σχέση του αποτυπωτή με το αντικείμενο
- η απαιτούμενη άμεση προσπελασιμότητα προς το αντικείμενο
- τα απλά και φτηνά όργανα μετρήσεων (πχ. μετροταινία, laser αποστασιόμετρο).
- η αδυναμία ελέγχου με κάποια επιστημονική μεθοδολογία άρα αδυναμία αντικειμενικής αξιολόγησης της αποτύπωσης

2.2.2. Τοπογραφικές Μέθοδοι

Η τοπογραφική μέθοδος, πραγματοποιείται με χρήση εξελιγμένων οργάνων ακριβείας όπως είναι οι γεωδαιτικοί σταθμοί ολοκληρωμένων αποδόσεων με ή χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, οι οποίοι μετρούν άμεσα οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και κεκλιμένες ή οριζόντιες αποστάσεις. Οι συντεταγμένες των προς απόδοση σημείων προσδιορίζονται με πολικές συντεταγμένες ή με εμπροσθοτομία στο χώρο. Για τη χρήση της μεθόδου αυτής αναγκαία προϋπόθεση είναι η ίδρυση τριγωνομετρικού ή και πολυγωνομετρικού δικτύου, από το οποίο εξαρτάται η αποτύπωση ώστε να δημιουργείται η δυνατότητα σύνδεσης των επιμέρους χώρων της κατασκευής. Σήμερα, με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας είναι δυνατόν να υπολογίζονται σε σύντομο χρονικό διάστημα, οι συντεταγμένες των προς αποτύπωση σημείων με μεγάλες ακρίβειες και στις τρεις διαστάσεις, γεγονός που συνηγορεί στην ευρεία χρήση της μεθόδου. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ο περιορισμένος αριθμός σημείων που μπορούν να μετρηθούν και ο αυξημένος χρόνος εργασιών υπαίθρου.

Πολλές φορές η πολυπλοκότητα του αντικείμενου και η μεγάλη λεπτομέρεια που εμφανίζουν τα αρχιτεκτονικά και αρχαιολογικά μνημεία καθιστούν ασύμφορη οικονομικά

αλλά και χρονικά την τοπογραφική μέθοδο αποτύπωσης. Για το λόγο αυτό μπορεί η τοπογραφική αποτύπωση να συνδυαστεί με τη φωτογραμμετρική μεθοδολογία ώστε να ληφθούν μόνο οι ελάχιστες τοπογραφικές μετρήσεις (μέτρηση φωτοσταθερών) που είναι απαραίτητες, για τον καθορισμό του επίγειου τρισσορθογώνιου συστήματος συντεταγμένων, στο οποίο θα αναφερθούν οι φωτογραφίες των στερεομοντέλων που θα επεξεργαστούν φωτογραμμετρικά και θα αποδώσουν το τελικό προϊόν.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της τοπογραφικής μεθόδου είναι:

- Ορίζει ένα σύστημα αναφοράς βάσει του οποίου γίνεται ο προσδιορισμός των μετρήσεων στο χώρο
- Υπάρχει δυνατότητα επιστημονικού ελέγχου του αποτελέσματος και ικανοποίηση των απαιτήσεων ακρίβειας και αξιοπιστίας.
- Υπάρχει σημαντικό πρόβλημα χρόνου και κόστους εργασιών πεδίου, που εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του αντικειμένου.
- Ο εξοπλισμός πεδίου είναι, κατ' αρχήν, μετρίου κόστους.
- Δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν λεπτομέρειες και πολύπλοκα αρχιτεκτονικά (κυρίως μη-γραμμικά) ή δύσκολα προσπελάσιμα στοιχεία του προς αποτύπωση αντικειμένου
- Ο απαραίτητος εξοπλισμός για τις επεξεργασίες γραφείου είναι ο συνηθισμένος των τοπογραφικών εφαρμογών

2.2.3. Φωτογραμμετρικές Μέθοδοι

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται σε άμεσες μετρήσεις επί εικόνων, με στόχο τον προσδιορισμό τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων του αντικειμένου. Εμπνευστής της χρήσης της φωτογραφίας για την τεκμηρίωση των αρχιτεκτονικών κατασκευών σημαντικής πολιτιστικής αξίας, ήταν ο *Albrecht Meydenbauer*, Γερμανός αρχιτέκτων που στα 1858 μετά από ένα ατύχημα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που έκανε στον καθεδρικό ναό της πόλης *Wetzlar* και μπορούσε να στοιχίσει τη ζωή του, σκέφτηκε ότι θα μπορούσαν οι μετρήσεις στην όψη ενός κτηρίου να πραγματοποιηθούν με έμμεσο τρόπο και

όχι απ' ευθείας. Η μέθοδος αυτή απαιτεί εξειδικευμένους στη φωτογραμμετρία μηχανικούς καθώς και δαπανηρό εξοπλισμό. Δεν μπορεί να εφαρμόζεται αυτόνομα, καθώς προϋποθέτει την παράλληλη εφαρμογή τοπογραφικών μεθόδων για τη σύνθεση του απαραίτητου υποβάθρου. Υπερτερεί σημαντικά έναντι των υπολοίπων μεθόδων γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Η έκταση της πληροφορίας που συνήθως απαιτείται να αποδοθεί σε ένα μνημείο είναι τέτοια, που καθιστά συνήθως αντισυμβαλτικές τις κλασικές τοπογραφικές μεθόδους.

Τα βασικότερα στάδια της Φωτογραμμετρικής διαδικασίας είναι:

- *Αναλογική φωτογραμμετρία*, όπου με χρήση των οπτικομηχανικών μέσων καθίσταται δυνατή η εξαγωγή της θέσης στις τρεις διαστάσεις των λεπτομερειών ενός εικονιζόμενου αντικειμένου που απεικονίζεται σε ένα στερεοζεύγος φωτογραφιών που έχουν ληφθεί από διαφορετικές θέσεις με σημαντική επικάλυψη.
- *Αναλυτική φωτογραμμετρία*, όπου οι φωτογραμμετρικές διαδικασίες γίνονται με υπολογιστικά μέσα και όπου χρησιμοποιούνται Η/Υ για τον υπολογισμό των παραμέτρων των φωτογραφικών εικόνων και των προσανατολισμών τους καθώς και ο προσδιορισμός στον τρισδιάστατο χώρο της θέσης των λεπτομερειών των αντικειμένων.
- *Ψηφιακή φωτογραμμετρία*, όπου σταματά η επεξεργασία των αναλογικών φωτογραφιών και η επεξεργασία γίνεται με υπολογιστικά μέσα σε ψηφιακές απεικονίσεις (σκαναρισμένες εικόνες ή πρωτογενείς ψηφιακές εικόνες) όχι μόνο του ορατού φάσματος της Η/Μ ακτινοβολίας αλλά και άλλων προτύπων της όπως πχ. στο μήκος κύματος των μικροκυμάτων, υπέρυθρων ακτίνων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της φωτογραμμετρικής μεθόδου είναι:

- Δεν υπάρχει ανάγκη σχεδίων πεδίου (σκαριφήματα-κροκί).
- Υπάρχει ανάγκη για πρόσθετες εργασίες της τοπογραφικής μεθόδου (στις περιπτώσεις χρήσης φωτοσταθερών ή τοποθέτησης του αντικειμένου σε αμοιβαία σχέση με άλλα αντικείμενα)
- Ο απαραίτητος εξοπλισμός για τις επεξεργασίες γραφείου είναι εξειδικευμένος, είτε μέτριου είτε υψηλού κόστους.
- Υπάρχει δυνατότητα έμμεσων μετρήσεων
- Υψηλότερες αναλύσεις
- Χαμηλό κόστος των εικόνων

2.2.4. Επίγεια Σάρωση Laser

Τα τελευταία χρόνια νέα όργανα μετρήσεων έχουν εισαχθεί στις επιστήμες των αποτυπώσεων χώρων τα οποία είναι σε θέση να μετρήσουν και να ανακατασκευάσουν τον τρισδιάστατο χώρο και τα αντικείμενα των διαφόρων μορφών και μεγεθών με έναν γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Αυτά τα όργανα, βασισμένα στην τεχνολογία laser, είναι συνήθως γνωστά ως επίγειοι Τρισδιάστατοι Σαρωτές Laser (3D laser scanner). Τα όργανα αυτά δίνουν σε πραγματικό χρόνο τις τρισδιάστατες συντεταγμένες του αντικειμένου που αποτυπώνεται. Το προϊόν που παράγεται είναι νέφος σημείων με συντεταγμένες x,y,z που αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς της σάρωσης. Οι σαρωτές laser ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού της απόστασης διακρίνονται στους παθητικούς και στους ενεργητικούς.

Η μέθοδος 3D σάρωσης αναλύεται περισσότερο σε επόμενο Κεφάλαιο.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μεθόδου είναι:

- Απαιτεί λιγότερη προεπεξεργασία αλλά και μικρότερο χρόνο εργασίας στο γραφείο
- Συνδυάζει την ακρίβεια της τοπογραφικής αποτύπωσης και την πληρότητα και συνέχεια αποτύπωσης της φωτογραμμετρικής
- Είναι ταχύτερη και αξιόπιστη μέθοδος αποτύπωσης
- Παροχή ενιαίας ακρίβειας
- Το κόστος αγοράς εξοπλισμού είναι μεγάλο
- Παρέχει συνολική αποτύπωση των 3D αντικειμένων χωρίς επιπλέον κόπο ή χρόνο εργασίας
- Εφαρμόζεται μέρα ή νύχτα και σχεδόν υπό όλες τις καιρικές συνθήκες
- Δυνατότητα αποτύπωσης απρόσιτων ή δυσπρόσιτων αντικειμένων

2.2.5. Εναλλακτικές Μέθοδοι

Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια πολλοί επιστήμονες ασχολούνται με καινοτόμες μεθόδους για τη Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι στηρίζονται στην αυτοματοποίηση των μετρήσεων για την καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους. Η αρχή έγινε με την κατασκευή του Laser Scanner και ακολούθησαν υβριδικά συστήματα τοπογραφίας και φωτογραμμετρίας. Ένα παράδειγμα υβριδικού συστήματος είναι αυτό που προτάθηκε από το M. Scherer. Η συγκεκριμένη ερευνητική πρόταση περιγράφει τη χρήση του «έξυπνου ταχύμετρου» ενός γεωδαιτικού σταθμού που οδηγείται από φορητό Η/Υ και μετρά χωρίς τη χρήση κάτοπτρου αλλά με μια δέσμη ακτίνας laser, τα χαρακτηριστικά σημεία που περιγράφουν το σχήμα του μνημείου. Η χρήση μιας CCD κάμερας που συνδέεται σε πραγματικό χρόνο με τον Η/Υ μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την καταγραφή on-line της εικονικής πληροφορίας που μετράται από το γεωδαιτικό σταθμό ή για την καθοδήγηση του μηχανισμού μέτρησης, μέσω ειδικού λογισμικού προς το σημείο του αντικειμένου που επιθυμείται να μετρηθεί.

Ακόμα, στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος HAZMAP (Masood Varshosaz, et.al, 2000) που πραγματοποιήθηκε από το τμήμα Geomatic Engineering του University College London, διερευνήθηκε η χρήση ενός μηχανοκίνητου θεοδόλιχου (Geotronics 510 SN) που περιστρέφεται μέσω σερβομηχανισμών σε συνδυασμό με δύο CCD κάμερες Pulnix TM 256 για τη λήψη και ταυτόχρονη αναφορά και εξωτερικό προσανατολισμό των εικόνων που χρησιμοποιούνται ως υφή σε προϊόντα τεκμηρίωσης μνημείων - χώρων. Το σύστημα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση ή/και μέτρηση φωτοσταθερών για τη φωτογραμμετρική επεξεργασία εικόνων των μνημείων.

Τέλος ένα ακόμα πρόγραμμα είναι το Archimedes 3D. Πρόκειται για ένα λογισμικό που εκτελείται σε φορητό Η/Υ που κατευθύνει το σύστημα μέτρησης ενός γεωδαιτικού σταθμού με δυνατότητα μετρήσεων χωρίς τη βοήθεια κάτοπτρου (μέτρηση απόστασης με ακτίνα laser) για την καταγραφή των χαρακτηριστικών σημείων στην όψη ενός αρχιτεκτονικού μνημείου. Ο έξυπνος τρόπος λειτουργίας και προσδιορισμού των χαρακτηριστικών σημείων που μετρώνται είναι δύο από τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

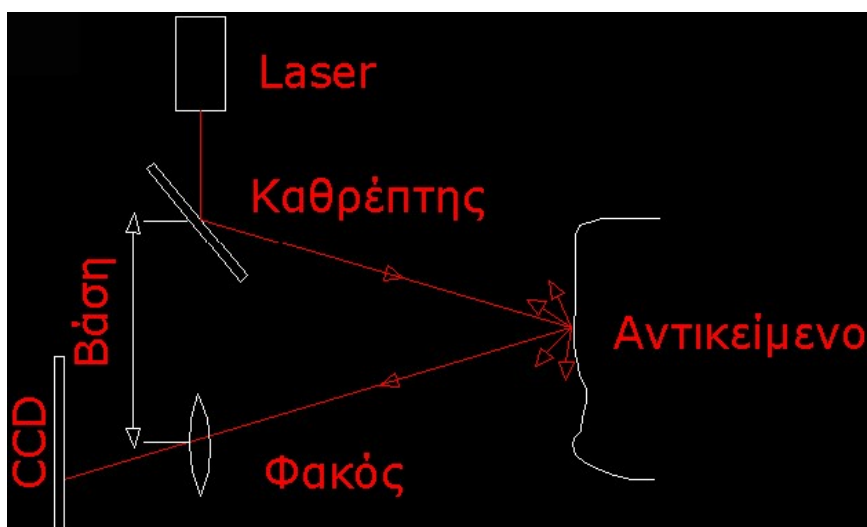
3. Ο ΕΠΙΓΕΙΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ LASER

Μια σύγχρονη τεχνολογία συλλογής τρισδιάστατης πληροφορίας για την αποτύπωση μνημείων και όχι μόνο είναι η επίγεια τρισδιάστατη σάρωση η οποία παρέχει τρισδιάστατες συντεταγμένες νέφους σημείων (point cloud) για το προς αποτύπωση αντικείμενο. (3D Laser Scanning). Αυτό γίνεται με τη χρήση επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή - 3D Laser Scanner.

3.1. Τεχνολογία Του Τρισδιάστατου Σαρωτή

Η τρισδιάστατη σάρωση είναι μια σύγχρονη μέθοδος αποτύπωσης η οποία αναδείχτηκε με την εξέλιξη της τεχνολογίας και συγκεκριμένα με την εξέλιξη του τρισδιάστατου σαρωτή laser και ήρθε να συμπληρώσει τις συνήθεις τοπογραφικές μεθόδους αλλά και να τις αντικαταστήσει σε μερικούς τομείς. Οι σαρωτές αποτυπώνουν ένα πυκνό σύνολο σημείων - νέφος σημείων δίνοντας όλες τις λεπτομέρειες για την επιφάνεια που σαρώνεται σε πολύ γρήγορο χρόνο. Το τελικό νέφος σημείων είναι και το δεδομένο το οποίο στη συνέχεια επεξεργάζεται κατάλληλα για να αποδοθεί το αντικείμενο που σαρώθηκε. Αυτό γίνεται ακολουθώντας την παρακάτω διαδικασία: Αρχικά, ορίζονται τα όρια της επιφάνειας που πρόκειται να αποτυπωθεί και η πυκνότητα σάρωσης. Στη συνέχεια, ο συνδεδεμένος με το κυρίως όργανο ηλεκτρονικός υπολογιστής, αφού λάβει με τη βοήθεια της CCD κάμερας του σαρωτή, την εικόνα της επιφάνειας και την επεξεργαστεί, ξεκινά την εκπομπή παλμού laser, που στην πράξη είναι ένα πλήθος μοναδιαίων παλμών, προς αυτή. Ο παλμός αυτός, αφού ανακλασθεί στην επιφάνεια που αποτυπώνεται, επιστρέφει στο σαρωτή, όπου ολοκληρωμένοι οπτικοί κωδικοποιητές, αφού μετρήσουν το χρόνο μετάβασης και επιστροφής και τις γωνίες ανάκλασης της δέσμης, μεταφέρουν τις πληροφορίες αυτές, σε πραγματικό χρόνο, στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, που δημιουργεί το τρισδιάστατο

ανάγλυφο της επιφάνειας. Από το πλήθος των μοναδιαίων παλμών laser, που εκπέμπονται, λαμβάνονται ένα πλήθος μετρήσεων προς σημεία της επιφάνειας, που αποτυπώνεται. Υπάρχει η δυνατότητα να αποτυπωθούν από 1000 έως 100000 σημεία ανά δευτερόλεπτο, για το καθένα από τα οποία προσδιορίζονται οι τρισδιάστατες συντεταγμένες του (X, Y, Z), ως προς το σύστημα αναφοράς, που έχει αρχικά οριστεί, δημιουργώντας μια αντίστοιχης ακρίβειας τρισδιάστατη εικόνα της επιφάνειας.



Εικόνα 3: Αρχή λειτουργίας σαρωτών laser

ΠΗΓΗ: <http://www.google.gr>

Τα σημεία που σαρώνονται εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή με τη μορφή νέφους σημείων. Όσο πυκνότερα είναι τα σημεία, τόσο ακριβέστερη είναι η αναπαράσταση του αντικειμένου. Ο σαρωτής, κατά τη διαδικασία της αποτύπωσης, συλλέγει και χρωματική πληροφορία των σημείων με τη μορφή RGB (red-green-blue) και έτσι υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού του χρώματος του αντικειμένου αποτύπωσης. Ο σαρωτής laser, αποτυπώνει ένα κωνοειδές πεδίο με κορυφή το κέντρο του φακού. Τα σημεία προς αποτύπωση θα πρέπει να είναι ορατά από το σημείο αποτύπωσης και κατά βάση αδιαφανή. Ορίζεται έτσι, ένα σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων, με αρχή τον αισθητήρα του σαρωτή και με τιμές $(\varphi, \theta) = (0, 0)$ για το διάνυσμα που ξεκινάει από τον αισθητήρα και κατευθύνεται προς τα εμπρός του σαρωτή. Τα (φ) και (θ) , μαζί με την απόσταση του κάθε σημείου (r),

αποτελούν τις σφαιρικές συντεταγμένες που περιγράφουν πλήρως τη θέση του αντικειμένου σε ένα σύστημα σχετικό με το σαρωτή. Στις περισσότερες περιπτώσεις, απαιτούνται περισσότερες από μία σαρώσεις υπό διαφορετικές γωνίες και όψεις, ώστε να δημιουργηθεί μία σωστή απεικόνιση του αντικειμένου. Αυτές οι διαφορετικές σαρώσεις, πρέπει να αναφερθούν σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς για να ενσωματωθούν σε ένα ενιαίο μοντέλο και να μπορούν να επεξεργαστούν. Αυτή η διαδικασία, γίνεται μέσω ειδικών λογισμικών και είναι απαραίτητη για τη δημιουργία του τελικού μοντέλου ('registration').

Μεγάλο πλεονέκτημα του επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή είναι ότι, σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης, δεν είναι αναγκαίο να τοποθετείται σε συγκεκριμένο σημείο, αλλά ούτε υπάρχει ανάγκη ορισμού των στάσεων. Αυτό γίνεται γιατί τα σημεία, συσχετίζονται μεταξύ τους, το καθένα με τα γειτονικά του και όχι με τη θέση που είναι κάθε φορά ο σαρωτής. Έτσι, από τις διαφορετικές θέσεις σάρωσης, δημιουργούνται τα μοντέλα σάρωσης (νέφη σημείων), τα οποία ενώνονται με τη μέθοδο 'registration', κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των σημείων. Συνήθως όμως, προβλέπεται και η αποτύπωση κατά τη σάρωση, σημείων ελέγχου (control points), τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις μετριοούνται με τις κλασικές τοπογραφικές μεθόδους, ώστε να ενταχθούν σε κάποιο δίκτυο. Τα σημεία αυτά υλοποιούνται με σφαιρικούς ή κυλινδρικούς στόχους και θα πρέπει να κυμαίνονται από 3- 5 για κάθε μία σάρωση.

3.1.1. Περιγραφή και χαρακτηριστικά του οργάνου

Ο επίγειος σαρωτής αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη : το σαρωτή, τον τρίποδα, τον αστερία για να στερεώνεται ο τρίποδας, τη μπαταρία (τροφοδοσία), τη μονάδα ελέγχου (ηλεκτρονικός υπολογιστής).

Συγκεκριμένα το κυρίως όργανο περιλαμβάνει τα παρακάτω:

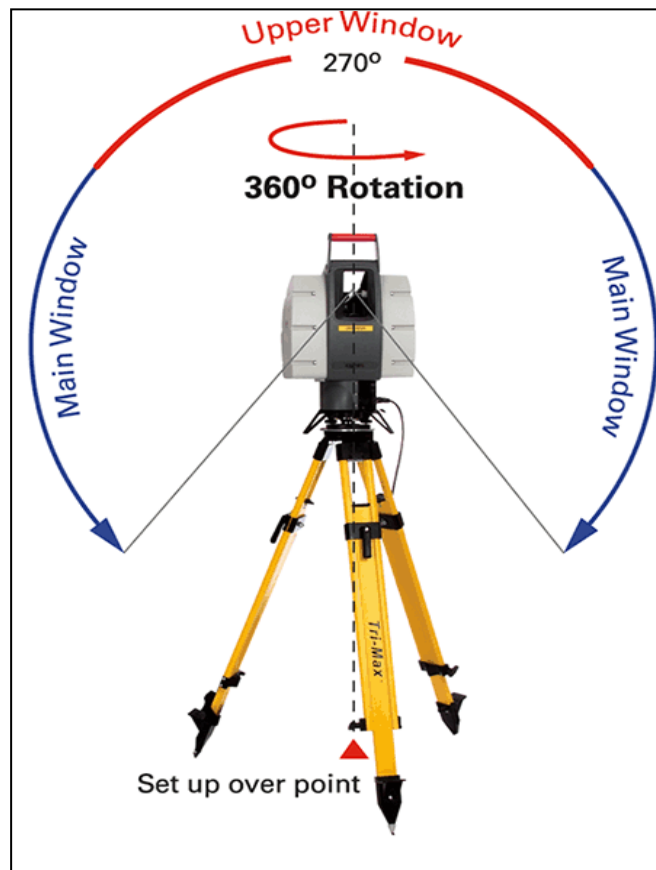
- τον πομπό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- το δέκτη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τον οποίο λαμβάνει το επιστρεφόμενο σήμα
- το σύστημα των περιστρεφόμενων κατόπτρων, το οποίο κατευθύνει τη δέση της ακτινοβολίας
- την καταγραφική μονάδα στην οποία καταγράφονται η επιστροφή του σήματος και ο χρόνος εκπομπής
- το χρονόμετρο για τη μέτρηση του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του σήματος.

Οι επίγειοι σαρωτές ανάλογα με την αρχή που χρησιμοποιούν για τη μέτρηση αποστάσεων σαρωτή-στόχου διακρίνονται σε:

- Time of flight σαρωτές (TOF)
 - Ranging σαρωτές
 - Phase comparison σαρωτές
- Triangulation σαρωτές

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής Leica Scan Station 2 TOF (Time of Flight). Η τεχνολογία Time - of - Flight, είναι κατάλληλη για αποτυπώσεις μεγάλων αντικειμένων (π.χ. κτηρίων και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών), καθώς οι σαρωτές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία Time - of - Flight, έχουν τη δυνατότητα αποτύπωσης σε μεγάλες αποστάσεις ακόμα και της τάξης των μερικών χιλιομέτρων. Η τεχνολογία αυτή, προσφέρει μειωμένη σχετικά ακρίβεια, της τάξης των λίγων χιλιοστών. Το συγκεκριμένο όργανο (Scan Station 2) διαθέτει κινούμενη κεφαλή με δυνατότητα περιστροφής 360° γύρω από τον οριζόντιο άξονα και 270° γύρω από τον κατακόρυφο άξονα. Ουσιαστικά δεν αποτυπώνονται τα σημεία που βρίσκονται στον κατακόρυφο άξονα απο -45° μέχρι 90° εξ'αιτίας του τρόπου στήριξης του οργάνου. Η γωνιακή του ανάλυση είναι 60 μrad (12'') και η ακρίβεια μίας μέτρησης ως προς τη θέση και απόσταση είναι 6

mm και 4 mm αντίστοιχα (για εμβέλεια μέχρι 50 m). Επιπλέον διαθέτει ισοσταθμητή και στους δύο άξονες (dual axis compensator), ηλεκτρονικό σύστημα κίνησης (servo), αυτόματη αναγνώριση στόχων και σκόπευση με τη βοήθεια ψηφιακής οθόνης (imaging) και όχι μέσω τηλεσκοπίου. Ακόμα έχει τη δυνατότητα μέγιστης πυκνότητας σάρωσης ενός χιλιοστού (1mm). Η μέγιστη εμβέλεια σάρωσης είναι 300 μέτρα και παρέχεται η επιλογή πολλαπλών τύπων σάρωσης και πυκνότητας σάρωσης σημείων. Ο ρυθμός σάρωσης ανέρχεται στα 50000 σημεία/ δευτερόλεπτο. Οι διαστάσεις του σαρωτή είναι 265 mm x 370 mm x 510 mm (βάθος x πλάτος x ύψος) και το καθαρό του βάρος 18,8 kg



Εικόνα 4: Γωνιακό εύρος σάρωσης στο Scan Station

ΠΗΓΗ: <http://www.leica-geosystems.com>

3.2. Συνένωση Νεφών - 'Registration'

Η μέθοδος αυτή γίνεται όπως ειπώθηκε παραπάνω για να ενταχθούν οι διαφορετικές σαρώσεις σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς. Η κάθε σάρωση έχει σαν αρχή των συντεταγμένων της το κέντρο του οργάνου. Για την ένταξη του μοντέλου σε ένα ορισμένο σύστημα αναφοράς είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν 6 παράμετροι ΔX , ΔY , ΔZ , $\Delta \omega$, $\Delta \phi$, $\Delta \kappa$. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι 3 μεταθέσεις του μοντέλου κατά τους άξονες και οι 3 στροφές. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις που επηρεάζουν τη μέθοδο αυτή. Η πρώτη είναι όταν το όργανο τοποθετείται σε τυχαία θέση και η δεύτερη είναι όταν το όργανο κεντρώνεται σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες.

❖ Στην πρώτη περίπτωση που το όργανο τοποθετείται σε τυχαία θέση, δηλαδή δεν είναι κεντρωμένο και οριζοντιωμένο σε σημείο γνωστών συντεταγμένων είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός επικαλυπτόμενου τμήματος μεταξύ των δύο σαρώσεων στο οποίο να μπορεί να επιλεγούν τουλάχιστον τρία διακριτά σημεία. Αυτά μπορεί να είναι είτε χαρακτηριστικά σημεία λόγω γεωμετρίας πάνω στο αντικείμενο που σαρώνεται (π.χ. γωνίες) είτε ειδικοί στόχοι που αναγνωρίζονται από το λογισμικό που συνοδεύει το όργανο (σφαιρικοί ή αυτοκόλλητοι στόχοι). Με γνώστες τις συντεταγμένες των δύο σημείων σε γνωστό σύστημα αναφοράς προσδιορίζονται οι 6 παράμετροι ($\{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z\}$ - η θέση ενός σημείου του μοντέλου στο χώρο, $\{\Delta \omega, \Delta \phi, \Delta \kappa\}$ - ο προσανατολισμός του μοντέλου στο χώρο), ενώ με μία συντεταγμένη του τρίτου σημείου προσδιορίζεται η στροφή του μοντέλου στο χώρο ως προς τον εαυτό του.

❖ Στην περίπτωση που η σάρωση γίνεται από σημείο γνωστών συντεταγμένων, με την κέντρωση του σαρωτή προσδιορίζονται οι παράμετροι ΔX , ΔY , ΔZ , ενώ με την οριζοντίωση προσδιορίζεται η στροφή του μοντέλου στο χώρο ως προς τον εαυτό του. Με τη σάρωση ενός γνωστού σημείου (ειδικός στόχος) προσδιορίζονται οι παράμετροι $\Delta \omega$, $\Delta \phi$ και $\Delta \kappa$. Άρα όταν η σάρωση πραγματοποιείται από σημείο γνωστών συντεταγμένων και ο σαρωτής είναι κεντρωμένος και οριζοντιωμένος, για την ένταξη του μοντέλου σε ορισμένο σύστημα αναφοράς είναι απαραίτητη η χρήση ενός μόνο σφαιρικού στόχου.

Έτσι λοιπόν υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι συνένωσης νεφών σημείων οι οποίοι είναι οι εξής :

a) Με χρήση ομόλογων σημείων (Cloud based Registration)

Με τη μέθοδο αυτή γίνεται συνένωση σαρώσεων που έχουν κάποια επικάλυψη (τουλάχιστον 30%) χρησιμοποιώντας τρία τουλάχιστον ομόλογα σημεία και στα δύο scanworlds. Για αύξηση της ακριβείας της συνένωσης, τα σημεία αυτά ενδείκνυται :

- ❖ Να είναι ευδιάκριτα (όπως σημεία σε γωνίες)
- ❖ Να καλύπτουν ομοιόμορφα την επιφάνεια επικάλυψης
- ❖ Να μη σχηματίζουν συμμετρικές επιφάνειες όπως μια ευθεία, ένα ισόπλευρο ή ένα ισοσκελές τρίγωνο.

Τα σημεία αυτά επιλέγονται κατά το στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων και δεν γίνεται σήμανση τους πάνω στο αντικείμενο κατά τη διάρκεια της σάρωσης. Μετά την επιλογή των ομόλογων σημείων δημιουργείται το cloud constraint που είναι ο δεσμός που δημιουργείται μεταξύ δύο σαρώσεων και προσδιορίζει το βέλτιστο μετασχηματισμό ευθυγράμμισης μεταξύ δύο νεφών σημείων.

b) Με χρήση ειδικών στόχων (Target based Registration)

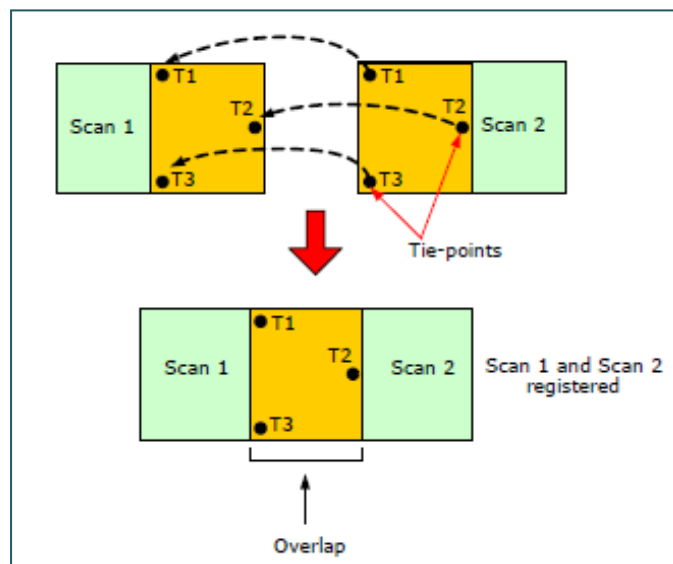
Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται ειδικοί στόχοι με υψηλή ανακλαστικότητα που αναγνωρίζονται από το λογισμικό του σαρωτή και τοποθετούνται στην επικαλυπτόμενη επιφάνεια μεταξύ των σαρώσεων, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Κατά την τοποθέτηση των ειδικών στόχων θα πρέπει να τηρούνται οι εξής προϋποθέσεις :

- ❖ Χρήση τουλάχιστον τριών ειδικών στόχων
- ❖ Τοποθέτηση των στόχων με τρόπο ώστε να καλύπτουν ομοιόμορφα την επικαλυπτόμενη επιφάνεια.
- ❖ Να τοποθετούνται έτσι ώστε να καλύπτουν και τις τρεις διαστάσεις (X, Y, Z)
- ❖ Να μην τοποθετούνται πάνω στην ίδια ευθεία

Οι στόχοι που περιγράφηκαν παραπάνω χρησιμοποιούνται αργότερα στην επεξεργασία των σαρώσεων από το λογισμικό Cyclone ως σημεία σύνδεσης προκειμένου να γίνει η συνένωση των νεφών σημείων (registration). Έτσι με τη χρήση των ειδικών αυτών στόχων το ένα νέφος σημείων μετατίθεται και στρέφεται γύρω από τους τρεις άξονες έτσι ώστε να προσαρμοστεί στο άλλο νέφος σημείων που θεωρείται σαν σταθερό.

c) Με γεωαναφορά (Registration to Survey controlled Targets)

Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά περιλαμβάνει τη μέθοδο χρήσης ειδικών στόχων με μόνη διαφορά ότι οι στόχοι έχουν πραγματικές συντεταγμένες σε κάποιο σύστημα αναφοράς και ότι αυτοί δεν χρειάζεται να τοποθετηθούν σε επικαλυπτόμενη επιφάνεια μεταξύ των διάφορων σαρώσεων. Οι συντεταγμένες αυτές συνήθως προσδιορίζονται με χρήση γεωδαιτικού σταθμού (Total Station). Στη συνέχεια γίνεται ο κατάλληλος μετασχηματισμός μεταξύ των νεφών σημείων όπως περιγράφηκε παραπάνω, εισάγονται μέσω του λογισμικού οι συντεταγμένες των στόχων και το τελικό συνενωμένο νέφος σημείων αποκτά το σύστημα αναφοράς που έχουν οι ειδικοί στόχοι.



Εικόνα 5: Registration χρησιμοποιώντας targets (στόχοι)

Ομόλογα Σημεία	Χρήση Ειδικών Στόχων	Γεωαναφορά
Πλεονεκτήματα		
<ul style="list-style-type: none"> • Ο σαρωτής μπορεί να τοποθετηθεί σε αυθαίρετο σημείο • Δεν υπάρχει ανάγκη για οριζοντίωση και κέντρωση του οργάνου καθώς και για μέτρηση ύψους του οργάνου • Δεν απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός (όπως στόχοι και σφαίρες) 	<ul style="list-style-type: none"> • Η σάρωση μπορεί να γίνει από μία αυθαίρετη στάση • Δεν υπάρχει ανάγκη για οριζοντίωση και κέντρωση του οργάνου καθώς και για μέτρηση ύψους του οργάνου • Οι στόχοι παρέχουν υψηλή ακρίβεια 	<ul style="list-style-type: none"> • Η γεωαναφορά πραγματοποιείται στο πεδίο και έτσι δεν χρειάζονται μετέπειτα επεξεργασία • Δεν υπάρχει ανάγκη επικάλυψης μεταξύ των σαρώσεων
Μειονεκτήματα		
<ul style="list-style-type: none"> • Απαιτείται επικάλυψη μεταξύ των σαρώσεων • Η ακρίβεια της συνένωσης εξαρτάται από την ικανότητα του παρατηρητή • Είναι χρονοβόρα διαδικασία και απαιτεί πολύ επεξεργασία στο γραφείο 	<ul style="list-style-type: none"> • Ανάγκη επικάλυψης μεταξύ των σαρώσεων • Τα αποτελέσματα της ένωσης και της γεωαναφοράς εξαρτώνται από την ακρίβεια των στόχων • Η ανάγκη προσδιορισμού των συντεταγμένων των σημείων ελέγχου, απαιτεί τη χρήση επιπρόσθετου οργάνου στο πεδίο(π.χ. γεωδαιτικός σταθμός) • Δυσκολία στην τοποθέτηση στόχων σε αντικείμενα με δύσκολη πρόσβαση 	<ul style="list-style-type: none"> • Ο τρόπος σάρωσης του στόχου στην οπισθοσκόπευση, επηρεάζει τα αποτελέσματα της γεωαναφοράς • Η ανάγκη προσδιορισμού των συντεταγμένων των σημείων ελέγχου, απαιτεί τη χρήση επιπρόσθετου οργάνου στο πεδίο(π.χ. γεωδαιτικός σταθμός)

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα Μεθόδων Συνένωσης Νεφών

3.3. Ακρίβεια Αποτύπωσης

Είναι προφανές ότι η ακρίβεια της αποτύπωσης παίζει σημαντικό ρόλο στο τελικό προϊόν, αφού αυτή καθορίζει την ποιότητα του. Η ακρίβεια των μετρήσεων, εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης μεταξύ της ακτίνας laser και της επιφάνειας του αντικειμένου. Σε γενικές γραμμές, μικρότερη απόσταση και πιο οξεία γωνία πρόσπτωσης επιφέρουν πιο ακριβή αποτελέσματα.

Οι επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές δεν συνιστάται να χρησιμοποιούνται σε ιδιαίτερες καιρικές συνθήκες όπως σε συννεφιά ή βροχή γιατί οι σταγόνες νερού στον αέρα μπορεί να προκαλέσουν θόρυβο ή να επιφέρουν λανθασμένες μετρήσεις. Επιπλέον, δεν μπορούν να λάβουν μετρήσεις όταν αποτυπώνουν επιφάνεια δρόμου που περιέχει νερό εξαιτίας της υψηλής ανακλαστικότητάς του. [Boehler W.,2004].

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια είναι οι παρακάτω:

- η μέθοδος σάρωσης
- η ταχύτητα σάρωσης
- η απόσταση σαρωτή και αντικειμένου
- η ανακλαστικότητα των επιφανειών
- το μέγεθος της κουκίδας του laser
- το υλικό της επιφάνειας που μετράται και στην οποία προσπίπτουν οι ακτίνες
- η πυκνότητα σάρωσης
- ο θόρυβος σάρωσης
- θερμοκρασία
- ατμόσφαιρα

Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο πιο πυκνά είναι τα σημεία του point cloud (νέφος σημείων) τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ακρίβεια του προς αποτύπωση αντικειμένου.

Πυκνότητα σάρωσης : Πάντα πριν την έναρξη της σάρωσης, είναι απαραίτητο να καθοριστεί το βήμα σάρωσης, η απόσταση δηλαδή μεταξύ των γειτονικών σημείων που θα αποτυπώσει ο σαρωτής. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Αρχικά, ορίζεται η απόσταση μέχρι την οποία ο σαρωτής θα αποτυπώνει. Στη συνέχεια δίνεται το βήμα σάρωσης το οποίο μπορεί να είναι από μερικά χιλιοστά έως μερικά μέτρα ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια. Αξίζει να τονιστεί όμως ότι, το βήμα σάρωσης που ορίζεται είναι προσεγγιστικό και αφορά μόνο στα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται κάθετα στην πορεία της ακτίνας laser. Οι πλάγιες σαρώσεις δίνουν μικρότερη πυκνότητα από αυτήν που ορίζεται στις αρχικές ρυθμίσεις πριν την έναρξη της σάρωσης. Έτσι συνήθως, ορίζεται υψηλότερη πυκνότητα από αυτήν που απαιτούν οι προδιαγραφές, ώστε να επιτευχθεί υψηλότερη ακρίβεια και να αποφευχθούν κενές περιοχές ή έλλειψη σημείων.

Θόρυβος σάρωσης : Είναι γεγονός ότι κατά τη διαδικασία της σάρωσης, αποτυπώνεται και άχρηστη πληροφορία. Αυτό συμβαίνει περισσότερο στις σαρώσεις που γίνονται σε εξωτερικούς χώρους. Ο θόρυβος της σάρωσης αποτελείται από περιττά σημεία τα οποία επιλέγονται να αποτυπωθούν για να αποφευχθούν κενά στο τελικό αποτέλεσμα της αποτύπωσης. Τέτοια σημεία μπορεί να είναι δέντρα, φυτά ή τεχνητά εμπόδια που βρίσκονται μπροστά από το αντικείμενο και εμποδίζουν την αποτύπωση του.

Διαστάσεις Κουκίδας Laser: Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια αποτύπωσης είναι οι διαστάσεις της κουκίδας laser. Το μέγεθος της κουκίδας μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την εταιρεία και το όργανο. Γενικά, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της κουκίδας τόσο πιο εύκολα ορίζεται το σημείο που θα αποτυπωθεί.

Ανακλαστικότητα της επιφάνειας: Είναι γνωστό, ότι οι άσπρες επιφάνειες ανακλούν την ακτινοβολία σε πολύ μεγάλο βαθμό, ενώ οι μαύρες την απορροφούν σχεδόν ολοκληρωτικά. Ένας τρόπος για τη διερεύνηση των σφαλμάτων που προκύπτουν από τη μεταβολή της ανακλαστικότητας, είναι η χρήση ενός άσπρου επίπεδου στόχου, του οποίου το κέντρο θα έχει επικαλυφθεί με ανακλαστικό υλικό. Οι διαφορές που θα προκύψουν στον

προσδιορισμό της απόστασης μεταξύ του κέντρου και του υπόλοιπου στόχου, θα δώσουν μια σαφή εικόνα των αποκλίσεων που πρέπει να αναμένονται. [Boehler W.,2004].

Θερμοκρασία: Κάθε σαρωτής λειτουργεί κανονικά μόνο όταν χρησιμοποιείται σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασίας (συνήθως 0°-50° C). Ακόμα και μέσα σε αυτό το εύρος μπορεί να παρατηρηθούν αποκλίσεις ειδικά στη μετρημένη απόσταση.

Ατμόσφαιρα: Η θερμοκρασία και η πίεση της ατμόσφαιρας μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα διάδοσης του φωτός μέσα σε αυτή. Από τη στιγμή που μετρώνται μικρές αποστάσεις, η αλλαγή στη ταχύτητα του φωτός λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και μεταβολών στην πίεση δεν επηρεάζει ουσιαστικά τα αποτελέσματα.

3.4. Εφαρμογές Laser Scanner

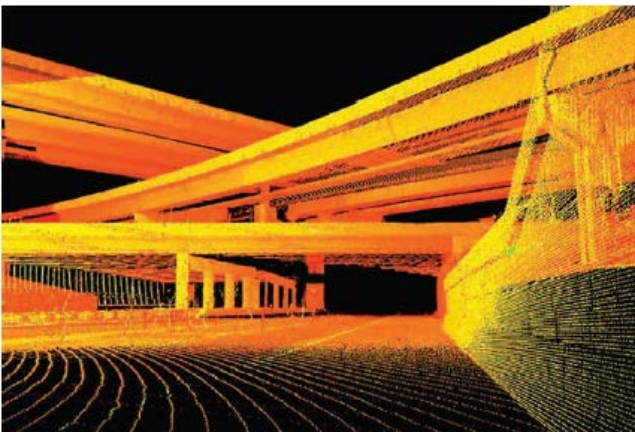
Οι σαρωτές laser, έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών το οποίο όσο περνάνε τα χρόνια διευρύνεται ακόμα περισσότερο. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά τους δημιουργούν λύσεις σε προβλήματα αποτύπωσης τα οποία με τις μέχρι τώρα τεχνολογίες έμοιαζαν ανυπέρβλητα, ή τουλάχιστον πολύ δύσκολα αντιμετωπίσιμα. Η πλήρης καταγραφή των περιπτώσεων στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο σαρωτής laser, δεν είναι δυνατή λόγω των διαφορετικών δεδομένων κάθε προβλήματος. Παρακάτω αναφέρονται σύντομα οι κύριοι τομείς στους οποίους σήμερα εφαρμόζεται η αποτύπωση laser.

Συγκοινωνίες

Οι σαρωτές laser βρίσκουν σημαντικό πεδίο εφαρμογών σε μελέτες οδοποιίας ή συγκοινωνιακών έργων. Μία τυπική αποτύπωση ενός οδικού δικτύου γίνεται πλέον ταχύτερα, ενώ η εξέλιξη αυτομεταφερόμενων σαρωτών που μπορούν να σαρώσουν από οχήματα εν κινήσει ανοίγει νέους ορίζοντες στο συγκεκριμένο τομέα. Σημαντική είναι η δυνατότητα των σαρωτών να πραγματοποιούν αποτυπώσεις ακόμα και σε πολυσύχναστους δρόμους και κόμβους χωρίς την ανάγκη διαταραχής ή διακοπής της κυκλοφορίας.

Εφαρμογές στον τομέα των συγκοινωνιών:

- Τοπογραφική αποτύπωση οδών και διατομών
- Υπολογισμός όγκου χωματισμών
- Μετρήσεις διασταυρώσεων
- Μετρήσεις - αναλύσεις ατυχημάτων
- Μετρήσεις πεζοδρομίων οδοστρωμάτων
- Μετρήσεις τεχνικών έργων
- Υπολογισμός κλίσης και σταθερότητας πρανών
- Μετρήσεις σε σήραγγες
- Εργασίες σε αεροδρόμια - σιδηροδρομικά δίκτυα



Εικόνα 6: Αποτύπωση ανισόπεδου κόμβου

ΠΗΓΗ: <http://www.geomatics.gr>



Εικόνα 7: Αποτύπωση τούνελ

ΠΗΓΗ: <http://www.astrolabe.gr>

Αρχιτεκτονική

Οι εφαρμογές στο πεδίο αυτό είναι πραγματικά πολλές και σημαντικές. Οι δυνατότητες για αποτύπωση λεπτομερειών και απρόσιτων σημείων είναι δύο από τα ισχυρά σημεία των σαρωτών που καλύπτουν πολλές από τις ανάγκες αποτύπωσης αρχιτεκτονικών στοιχείων που αλλιώς θα ήταν δύσκολες ή και ελλειπείς.

Εφαρμογές στον τομέα της Αρχιτεκτονικής:

- Μελέτες μετατροπών, αλλαγών και επεκτάσεων κτιρίων
- Κατασκευές κτιρίων
- Αποτύπωση αρχιτεκτονικών στοιχείων, κτιρίων πολιτιστικής σημασίας
- Αντιμετώπιση προβλημάτων πολεοδομικής ή χωροθετικής οργάνωσης
- Πρόληψη, αντιμετώπιση και διαχείριση καταστροφών (φυσικών)



Εικόνα 8: Αποτύπωση Ρωμαϊκής Γέφυρας Πατρών
ΠΗΓΗ: <http://www.geodesylab.civil.upatras.gr>

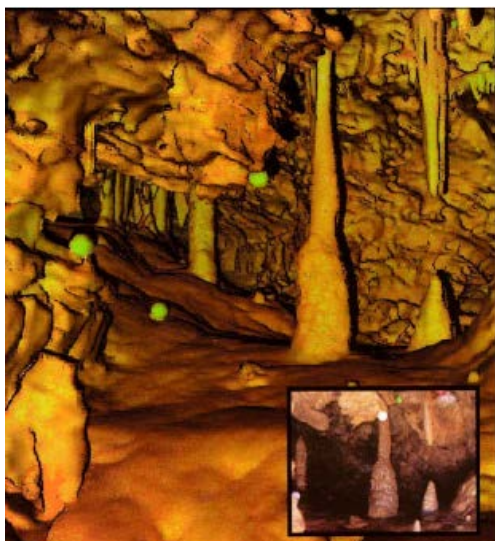


Εικόνα 9: Αποτύπωση ιστορικών κτιρίων

ΠΗΓΗ: <http://www.astrolabe.gr>

Τοπογραφικές Αποτυπώσεις

Οι σαρωτές τα τελευταία χρόνια άρχισαν να βρίσκουν εφαρμογή και σε κλασικές τοπογραφικές αποτυπώσεις. Η ταχύτητα εργασιών πεδίου και η ανάγκη για μικρότερα συνεργεία οδήγησαν στη δοκιμή των σαρωτών σε περιπτώσεις κλασικών τοπογραφικών αποτυπώσεων, ωστόσο το υψηλό κόστος απόκτησης τέτοιων συστημάτων αλλά και η εξειδίκευση που απαιτεί η επεξεργασία των δεδομένων, οδήγησε τους σαρωτές να βρίσκουν προς το παρόν εφαρμογή μόνο σε μεγάλες εργασίες αποτύπωσης ή σε ειδικές περιπτώσεις.



Εικόνα 10: Αποτύπωση σπηλαίου

ΠΗΓΗ: <http://www.astrolabe.gr>

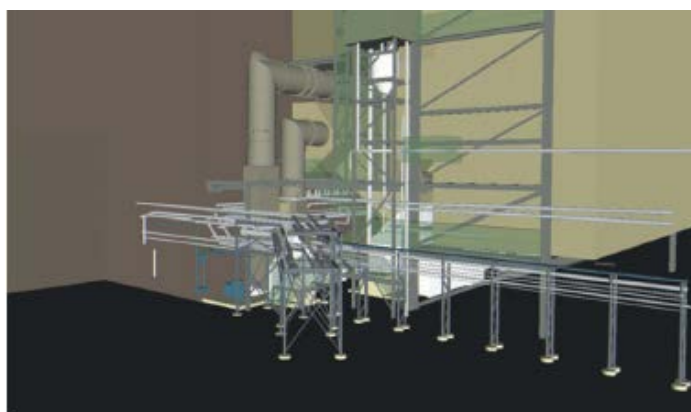


Εικόνα 11: Αποτύπωση ανασκαφών

ΠΗΓΗ: <http://www.astrolabe.gr>

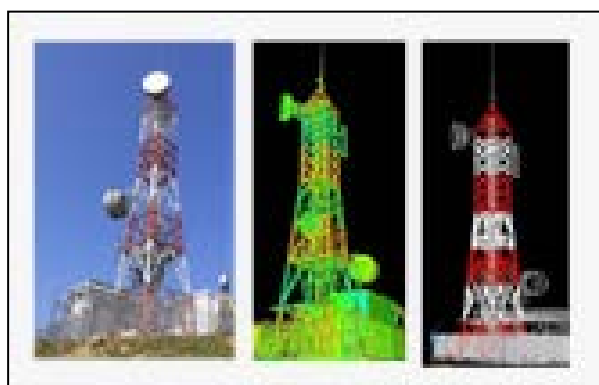
Βιομηχανικές Εφαρμογές

Οι σαρωτές laser εφαρμόζονται σε σημαντικό βαθμό στη βιομηχανία. Κυρίως οι εφαρμογές τους αφορούν σε περιπτώσεις σχεδιασμού αντικειμένων, εντοπισμός αστοχιών συστημάτων ή εξαρτημάτων κ.α. Ταυτόχρονα μέσω της σάρωσης με laser μπορούν να αποτυπωθούν σε μεγαλύτερη κλίμακα σωληνώσεις, συστοιχίες μηχανημάτων, ακόμα και ολόκληρες εγκαταστάσεις. Σημαντικά στοιχεία στις σαρώσεις με laser είναι η ταχύτητα, η μέγιστη δυνατή ακρίβεια, καθώς επίσης και η δυνατότητα σάρωσης από απόσταση για περιπτώσεις επικίνδυνων εγκαταστάσεων.



Εικόνα 12: Αποτύπωση εγκαταστάσεων υδροηλεκτρικού εργοστασίου

ΠΗΓΗ: <http://www.astrolabe.gr>

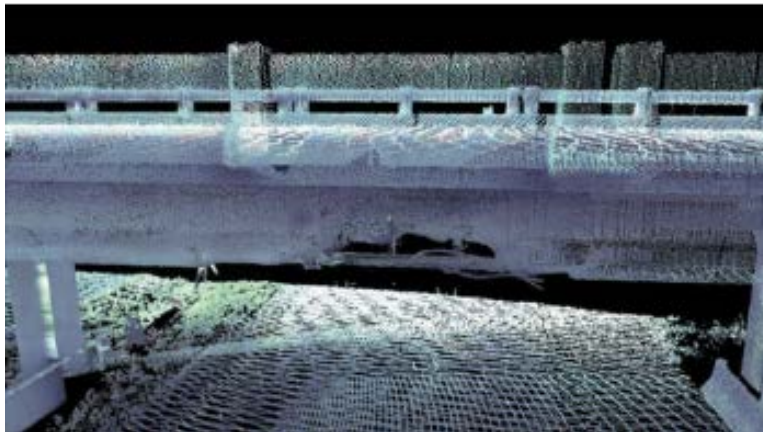


Εικόνα 13: Αποτύπωση δικτύωματος πυλώνα κινητής τηλεφωνίας

ΠΗΓΗ: <http://www.metrica-isv.gr>

Ανάλυση Ατυχημάτων

Η σάρωση με laser λόγω της δυνατότητας να αποτυπώνει πολύ αξιόπιστα μη κανονικές επιφάνειες έχει φανεί πολύ χρήσιμη στη διερεύνηση ατυχημάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις η πυκνότητα με την οποία μπορεί να αποτυπώσει σημεία περιγράφει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό τις επιφάνειες που προκύπτουν μετά από ατυχήματα. Η δυνατότητα επίσης που δίνουν τα λογισμικά για την τρισδιάστατη επεξεργασία του νέφους των σημείων, αλλά και της άμεσης παραγωγής σχεδίων και τομών είναι χαρακτηριστικά που κάνουν τη μέθοδο αυτή μονόδρομο για παρόμοιες εφαρμογές.



Εικόνα 14: Αποτύπωση γέφυρας μετά από σύγκρουση

ΠΗΓΗ: <http://www.astrolabe.gr>



Εικόνα 15: Αποτύπωση ατυχήματος - εικόνα από Scanner

ΠΗΓΗ: <http://www.astrolabe.gr>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ LASER SCANNER- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

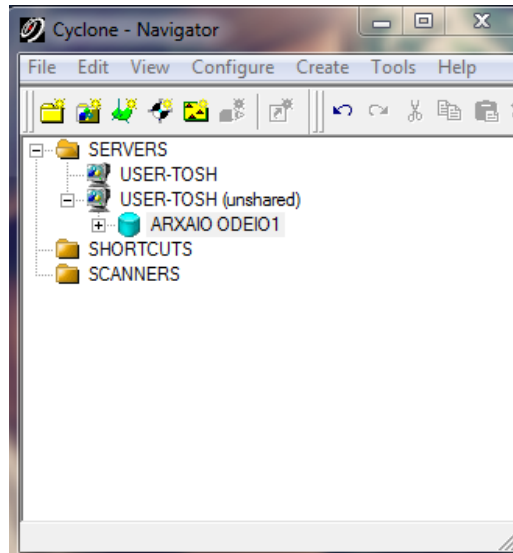
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφερθεί διεξοδικά η διαδικασία των μετρήσεων και όλη η επεξεργασία με τη βοήθεια του λογισμικού Cyclone.

4.1. Λογισμικό Cyclone

Το λογισμικό επεξεργασίας που συνοδεύει το σαρωτή ScanStation 2 είναι το Cyclone το οποίο λειτουργεί σε περιβάλλον Windows. Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι απαραίτητο για τη λειτουργία του συστήματος του σαρωτή αλλά και για τη μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται από τις εργασίες πεδίου. Τα *module* του λογισμικού Cyclone είναι τα παρακάτω:

- *Cyclone SCAN* - για τη συλλογή της πληροφορίας (αποτύπωση, οπισθοτομία, όδευση, εξαγωγή συντεταγμένων, έλεγχος των δεδομένων, reports), συνεργασία με TPS 1200 και GPS1200 μέσω της λειτουργίας X-Function.
- *Cyclone REGISTER* - για την ένωση διαδοχικών σαρώσεων (3D point cloud registration και geo-referencing)
- *Cyclone SURVEY* - για την επεξεργασία του 3D point cloud
- *Cyclone MODEL* - εργαλείο για τη μοντελοποίηση 2D και 3D τμημάτων βιομηχανικών εγκαταστάσεων με βάση βιβλιοθήκες μηχανολογικών στοιχείων με συγκεκριμένα πρότυπα
- *Cyclone SERVER* - επιτρέπει τη διαχείριση δεδομένων σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα
- *Cyclone TOPO* - δημιουργία τοπογραφικών χαρτών και διαγραμμάτων μέσω point cloud

- *Cyclone Publisher & TruView* - πανοραμική παρατήρηση και μέτρηση των πραγματικών διαστάσεων των δεδομένων ενός point cloud μέσω διαδικτύου
- *Cyclone Viewer Pro* - εισαγωγή-εξαγωγή όλων των σημαντικών format των δεδομένων, εργαλεία μέτρησης και επεξεργασίας του point cloud (χαμηλού κόστους διαχείριση δεδομένων)



Εικόνα 16: Το περιβάλλον του Cyclone

ΠΗΓΗ : <http://www.metrica.gr/>

Το βασικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι η δυνατότητα να διαχειρίζεται μεγάλο όγκο πληροφορίας χωρίς να μειώνεται η απόδοση. Συγκεκριμένα ισορροπώντας το πλήθος της πληροφορίας που προβάλλεται, εξασφαλίζει ομαλή πλοήγηση στο μοντέλο και απρόσκοπτο χειρισμό της κάθε σάρωσης ανεξάρτητα από τον όγκο των δεδομένων που αυτή περιέχει.

4.1.1. Εξαγωγή αρχείων του Cyclone και εισαγωγή τους σε σχεδιαστικά προγράμματα

Μια ακόμα δυνατότητα του Cyclone είναι η εξαγωγή και η εισαγωγή αρχείων του προγράμματος σε σχεδιαστικά προγράμματα όπως το AutoCAD. Συγκεκριμένα, μπορούν να εξαχθούν από το Cyclone είτε αρχεία μορφής COE (Cyclone Object Exchange) είτε μορφής .dxf που μπορούν να περιλαμβάνουν ολόκληρο το νέφος σημείων ή σχέδια που έχουν γίνει πάνω στο νέφος σημείων. Στη συνέχεια γίνεται εισαγωγή των αρχείων αυτών σε κάποιο σχεδιαστικό πακέτο προκειμένου να τελειοποιηθούν τα επιθυμητά σχέδια. Επίσης η ίδια διαδικασία μπορεί να γίνει μέσω του υποπρογράμματος *Cloudworx* για εισαγωγή αρχείων στο AutoCAD. Το υποπρόγραμμα αυτό επιτρέπει στους χρήστες του AutoCAD να εργαστούν απευθείας με τα νέφη σημείων χρησιμοποιώντας τα εργαλεία και τις εντολές του λογισμικού πακέτου AutoCAD. Ουσιαστικά το υποπρόγραμμα αυτό καλεί το νέφος των σημείων μέσα από το Cyclone και επιτρέπει να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία μέσα στο περιβάλλον του AutoCAD. Το μεγάλο πλεονέκτημα του υποπρογράμματος *CloudWorx* είναι η ικανότητα διαχείρισης τεράστιου όγκου πληροφορίας μέσα σε περιβάλλον CAD.

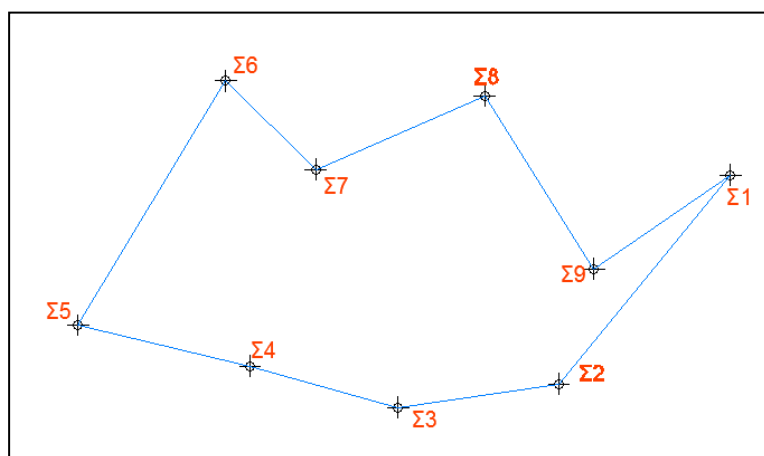
4.2. Διαδικασία Μετρήσεων

Στην παρούσα εργασία, οι μετρήσεις με τον επίγειο σαρωτή έγιναν τις 11,12,13, 14/6/2012, συνεχίστηκαν στις 25,26,27/6/2012 και στηρίχτηκαν σε υπάρχον πολυγωνομετρικό δίκτυο το οποίο είχε δημιουργηθεί για την ανάγκη της τοπογραφικής αποτύπωσης του Ωδείου με total station. [Μ.Βλάχου, 2012]

Αξίζει να σημειωθεί, όπως ήδη έχει αναφερθεί, ότι ο σαρωτής δεν χρειάζεται να τοποθετείται σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες. Στη συγκεκριμένη όμως περίπτωση επιλέχθηκε να τοποθετηθεί σε συγκεκριμένα σημεία έτσι ώστε να είναι πιο γρήγορη η συνένωση των νεφών (registration).

Για τη σάρωση του Ωδείου ήταν αναγκαία η ίδρυση στάσεων τόσο για την τοποθέτηση του Scanner όσο και των σφαιρικών στόχων. Οι ίδρυση των συγκεκριμένων στάσεων βασίστηκαν στο πολυγωνομετρικό δίκτυο το οποίο είχε δημιουργηθεί για την τοπογραφική αποτύπωση του Ωδείου και των όμορων οικοδομικών τετραγώνων, αλλά και σε στάσεις οι οποίες είχαν μετρηθεί με GPS. Έτσι, ιδρύθηκαν «τυφλές» στάσεις εξαρτημένες από τις στάσεις της όδευσης.

Το σκαρίφημα της όδευσης φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 17: Σκαρίφημα όδευσης

ΠΗΓΗ: Βλάχου Μαρία- Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών- Τοπογραφική Αποτύπωση - Αποτύπωση Ψηφιδωτών, 2012.

Οι συντεταγμένες των κορυφών της όδευσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Συντεταγμένες Όδευσης από Total Station			
Σημείο	x (m)	y (m)	H (m)
1	301979.237	4234962.141	40.653
2	301946.770	4234922.483	37.073
3	301916.339	4234918.060	36.170
4	301888.207	4234925.859	34.531
5	301855.608	4234933.64	32.653
6	301883.593	4234980.101	35.897
7	301900.693	4234963.214	37.092
8	301932.704	4234977.254	39.930
9	301953.385	4234944.345	39.400

Πίνακας 2: Συντεταγμένες κορυφών όδευσης

ΠΗΓΗ: Βλάχου Μαρία- Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών- Τοπογραφική Αποτύπωση - Αποτύπωση Ψηφιδωτών, 2012.

Πέρα από τα σημεία της όδευσης μετρήθηκαν και κάποιες επιπλέον στάσεις για την ολοκληρωμένη σάρωση του Ωδείου, οι συντεταγμένες των οποίων φαίνονται παρακάτω:

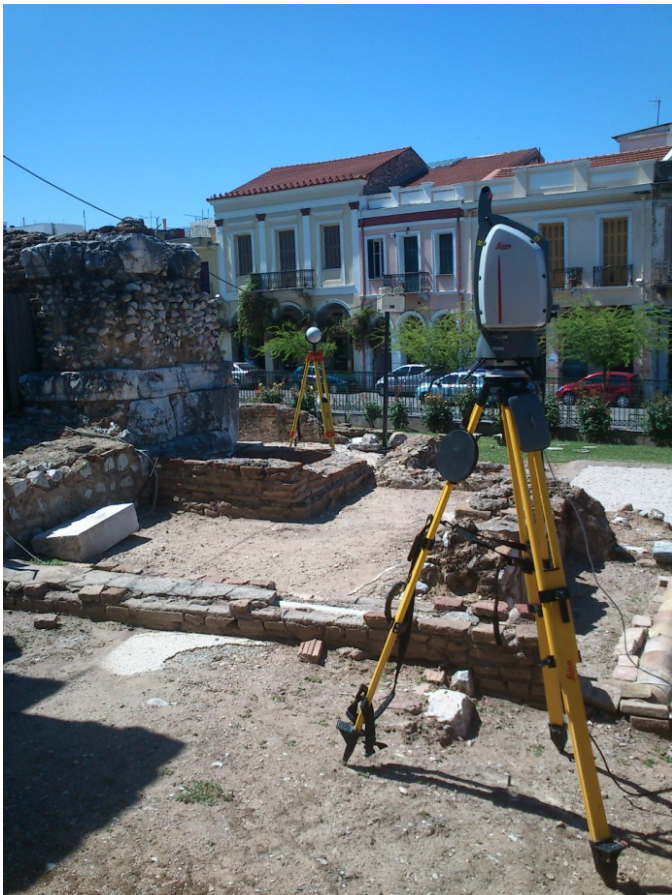
Συντεταγμένες Στάσεων			
Σημείο	x (m)	y (m)	H (m)
S12	301930.205	4234956.205	44.242
S13	301938.969	4234956.900	48.142
S14	301938.006	4234935.685	44.223
S15	301908.644	4234944.836	44.278
S16	301922.099	4234936.250	38.259
S17	301905.536	4234934.481	38.244
S18	301939.266	4234923.967	38.361
S19	301942.537	4234934.541	37.490
S20	301930.387	4234.924.852	37.339

S21	301908.615	4234931.650	37.263
S22	301896.146	4234934.620	36.084
S23	301949.950	4234932.802	37.953
S24	301952.051	4234960.067	39.962
S25	301939.322	4234943.191	43.230
S26	301930.873	4234962.682	40.730
S27	301894.912	4234940.358	36.118
S28	301906.435	4234952.870	40.694
S29	301904.514	4234954.771	41.173
S30	301907.390	4234956.031	40.369
S31	301913.560	4234961.506	40.856
S32	301919.934	4234963.708	40.924
S33	301920.265	4234962.479	40.976
S34	301907.443	4234960.223	39.870
S41	301943.751	4234943.616	41.228
S42	301888.322	4234936.459	35.170
S43	301879.107	4234930.839	34.060
S44	301899.820	4234.967.506	36.811
S45	301901.296	4234975.986	36.470
S46	301889.731	4234979.329	36.120
S47	301887.531	4234969.752	36.240
S48	301931.972	4234962.325	40.830

Πίνακας 3: Συντεταγμένες στάσεων για τη σάρωση του Ωδείου

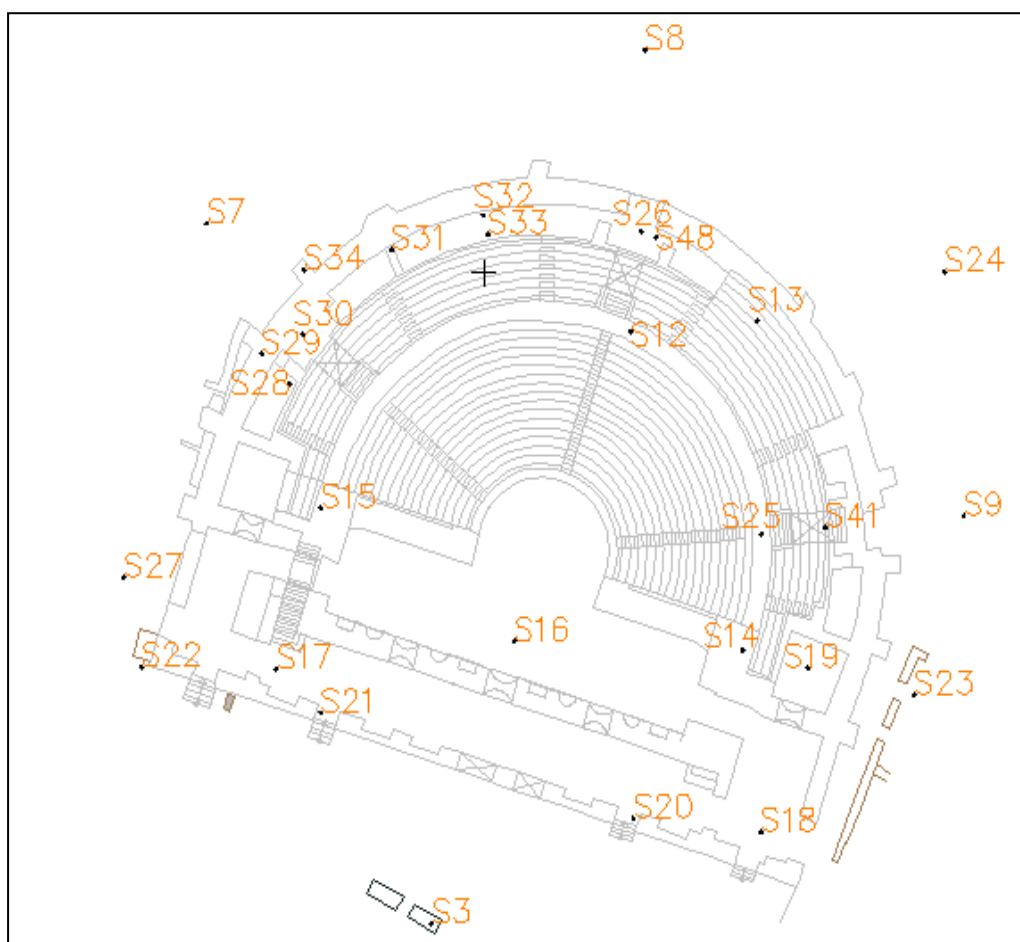
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ολοκλήρωση της σάρωσης είναι η ακόλουθη. Αρχικά γίνεται η οριζοντίωση και κέντρωση του σαρωτή στη στάση από την οποία θα γίνει η σάρωση και συνδέεται με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή (laptop) μέσω ενός καλωδίου δικτύου. Ρυθμίζεται η φωτεινότητα ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη σάρωση (ηλιοφάνεια, μέρος και ώρα). Στη συνέχεια μέσω του λογισμικού Cyclone ορίζεται το «παράθυρο» σάρωσης δηλαδή το εύρος σάρωσης μέσω φωτογραφίας που τραβάει η κάμερα που διαθέτει το όργανο και η οποία αποθηκεύεται στο λογισμικό. Επίσης αφού επιλεγεί το «βήμα» σάρωσης (στην περίπτωση μας 0,005 m εσωτερικά του Ωδείου και 0,010 m εξωτερικά του Ωδείου) και η απόσταση του πιο μακρινού σημείου του αντικειμένου που πρόκειται να σαρωθεί, γίνεται εκτίμηση για το χρόνο ολοκλήρωσης της

σάρωσης. Ταυτόχρονα τοποθετείται σφαιρικός στόχος σε στάση η οποία βρίσκεται μέσα στο εύρος σάρωσης. Αφού ολοκληρωθεί η σάρωση εισάγεται αρχείο με τις συντεταγμένες των στάσεων και επιλέγεται η στάση στην οποία είναι το όργανο και η σφαίρα μαζί με τα ύψη οργάνων και στόχων αντίστοιχα. Τέλος, μέσω του *modelspace* που δημιουργείται, επιλέγεται η σφαίρα για το σωστό προσανατολισμό του νέφους ώστε να μπορεί να γίνει σε επόμενο στάδιο το *registration*.



Εικόνα 18: Σχετική θέση σφαίρας-οργάνου στάση S27 (αριστερά) και στάση S31 (δεξιά)

Στην εικόνα 19 παρουσιάζονται οι στάσεις που δημιουργήθηκαν τόσο για το scanner όσο και για τις σφαίρες.



Εικόνα 19: Θέσεις Scanner και στόχων

Στις στάσεις S3, S7, S8, S9, S13, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S30, S31, S32 τοποθετήθηκε τόσο το Scanner όσο και οι σφαιρικοί στόχοι. Ενώ οι στάσεις S20 S21 S22 S33 S34 S41 S48 δημιουργήθηκαν αποκλειστικά για την τοποθέτηση των σφαιρικών στόχων με σκοπό τη συνένωση των επιμέρους σαρώσεων.

4.3. Συνένωση νέφους σημείων

Μια από τις σημαντικότερες δυνατότητες του λογισμικού Cyclone είναι η συνένωση ομόλογων σαρώσεων registration. Όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3, τα ανεξάρτητα νέφη σημείων μετασχηματίζονται σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς είτε με τη χρήση σφαιρικών στόχων είτε με τη χρήση επικαλυπτόμενων γνωστών σημείων σε δυο γειτονικές σαρώσεις ενώ υπάρχει η δυνατότητα συνδυασμού των δύο παραπάνω μεθόδων. Το λογισμικό του Cyclone εντοπίζει αυτόματα στόχους και δημιουργεί ένα σύστημα περιορισμών, το οποίο χρησιμοποιείται για την αναγωγή των επιμέρους σαρώσεων σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να απενεργοποιήσει κάποιους από αυτούς, ή να προσθέσει επιπλέον, προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Μετά το τέλος της διαδικασίας παρουσιάζεται αναλυτική αναφορά για την ακρίβεια της συνένωσης. Τα στατιστικά περιλαμβάνουν το σφάλμα για κάθε περιορισμό, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS), καθώς και ιστόγραμμα σφάλματος για κάθε περιορισμό με επικαλυπτόμενα νέφη. Τέλος η συγκεκριμένη εφαρμογή έχει και δυνατότητες μοντελοποίησης των σαρωμένων μοντέλων και παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων.

Παρακάτω αναφέρεται διεξοδικά η διαδικασία της συνένωσης με τη μέθοδο της Γεωαναφοράς και των Ομολόγων Σημείων.

Από τις σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν δημιουργήθηκαν πολλά νέφη σημείων (point clouds) τα οποία έπρεπε να συνενωθούν για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του Ωδείου. Η επεξεργασία και η συνένωση των νεφών έγινε μέσω του λογισμικού Cyclone. Επειδή τόσο το όργανο όσο και ο σφαιρικός στόχος τοποθετήθηκαν σε σημεία με γνωστές συντεταγμένες όπως αναφέρθηκε παραπάνω η διαδικασία της συνένωσης δεν ήταν περίπλοκη. Έτσι η διαδικασία του registration πραγματοποιήθηκε για την πλειοψηφία των στάσεων με τη μέθοδο της «Γεωαναφοράς», ενώ για εκπαιδευτικούς λόγους η συνένωση των στάσεων Σ16, Σ18, Σ19 έγινε με τη μέθοδο των «Ομόλογων Σημείων» η οποία αναφέρεται διεξοδικά παρακάτω.

Γεωαναφορά

Από το αρχικό παράθυρο *Navigator* που εμφανίζεται με την έναρξη του *Cyclone* επιλέγεται το μενού *Create* → *Registration* και δίνεται όνομα στη συνένωση. Στη συνέχεια στο παράθυρο της συνένωσης επιλέγεται το μενού *ScanWorld* → *Add ScanWorld* και προστίθενται οι προς συνένωση σαρώσεις. Έπειτα επιλέγεται το μενού *Registration* → *Create ScanWorld/Freeze Registration*, ενώ από το μενού *Registration* → *Create and Open ModelSpace* δημιουργείται το τελικό μοντέλο της συνένωσης και εμφανίζεται στην οθόνη.

Ομόλογα Σημεία

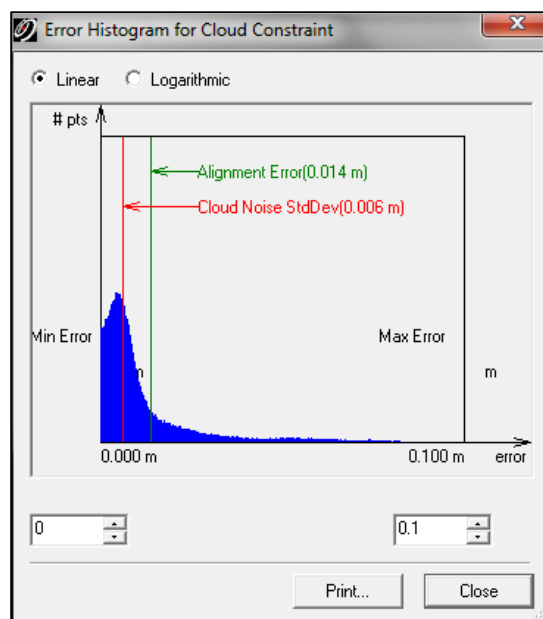
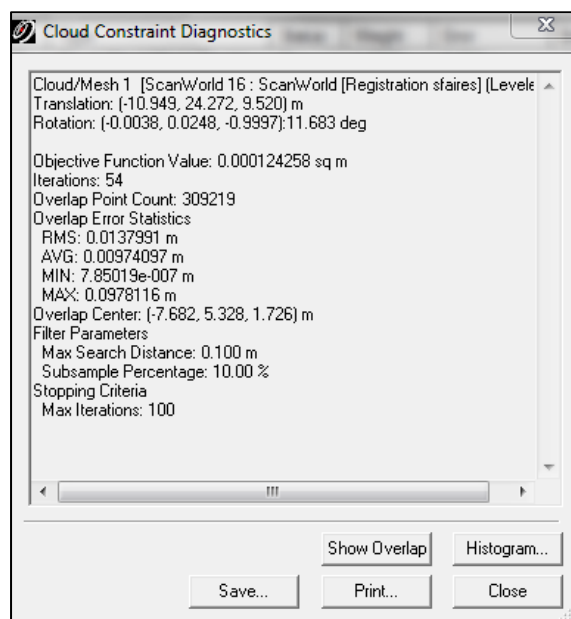
Εισάγονται στο πρόγραμμα όλα τα δεδομένα που έχουν μετρηθεί στο πεδίο. Στη συνέχεια, τα δύο νέφη σημείων τοποθετούνται στο ίδιο project και έχοντας επιλεγμένο το project αυτό, γίνεται εκκίνηση της εφαρμογής registration. Από το μενού *Scanworld* → *Add scanworld*, προστίθενται οι επιλεγμένες σαρώσεις στη διαδικασία.

Οι δύο σαρώσεις εμφανίζονται σε γειτονικά παράθυρα και με την επιλογή *cloud constraints*, ξεκινά η διαδικασία αναγνώρισης των 3 τουλάχιστον ομόλογων σημείων. Με την επιλογή *Optimize cloud constraint*, παρουσιάζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Από το μενού *Registration* → *register* ολοκληρώνεται η συνένωση των νεφών. Επιλέγοντας *Create Scanworld/ Freeze registration*, δημιουργείται ένα καινούργιο αρχείο το οποίο περιέχει το συνενωμένο νέφος. Όλες οι παράμετροι της διαδικασίας της συνένωσης παρουσιάζονται στον πίνακα *cloud constraint diagnostics*

Τα σφάλματα των συνενώσεων, τα ιστογράμματα σφαλμάτων καθώς και η επικάλυψη των επιμέρους σαρώσεων με τη μέθοδο των ομόλογων σημείων για κάθε στάση φαίνονται παρακάτω:

Για τη στάση S16

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
Cloud/Mes...	ScanWorld 16	ScanWorld [R...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.014 m]



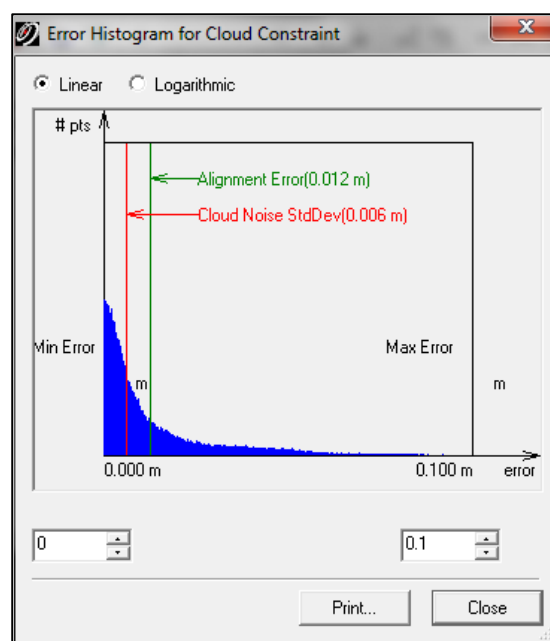
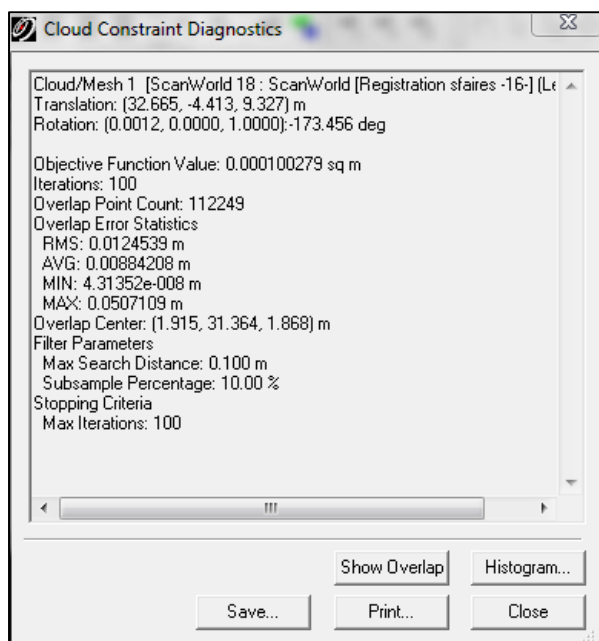
Εικόνα 20: Πίνακας αποτελεσμάτων συνένωσης νεφών (αριστερά) και Ιστόγραμμα σφαλμάτων συνένωσης (δεξιά) για τη στάση S16



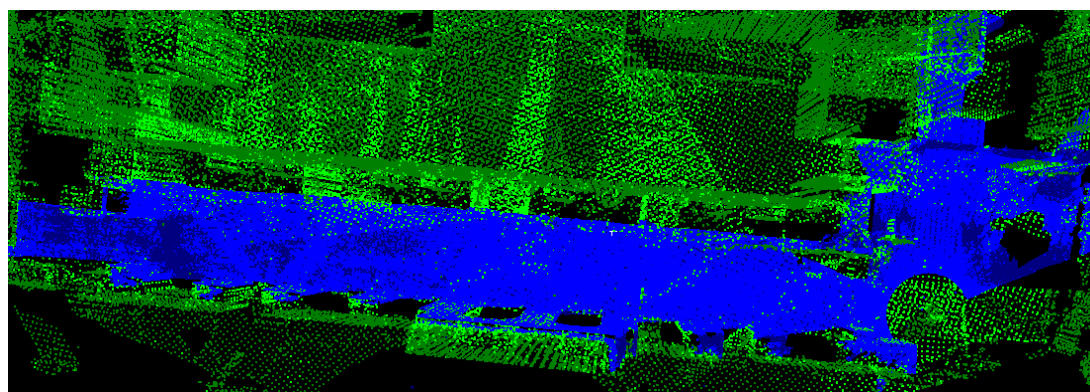
Εικόνα 21: επικάλυψη επιμέρους σαρώσεων για τη στάση S16
 ΠΗΓΗ: Cyclone

Για τη στάση S18

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
Cloud/Mes...	ScanWorld 18	ScanWorld [R...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.012 m]

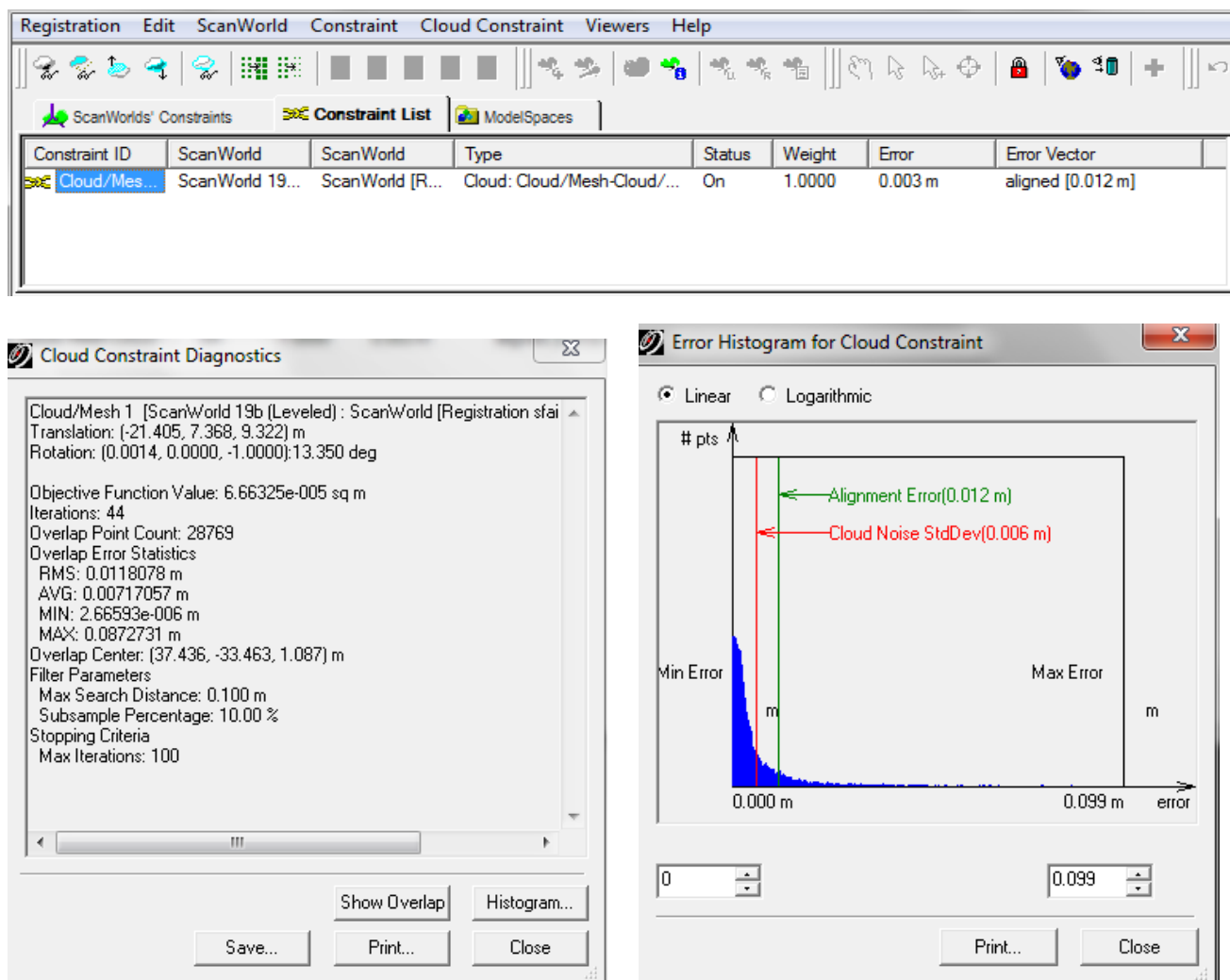


Εικόνα 22: Πίνακας αποτελεσμάτων συνένωσης νεφών (αριστερά) και Ιστόγραμμα σφαλμάτων συνένωσης (δεξιά) για τη στάση S18

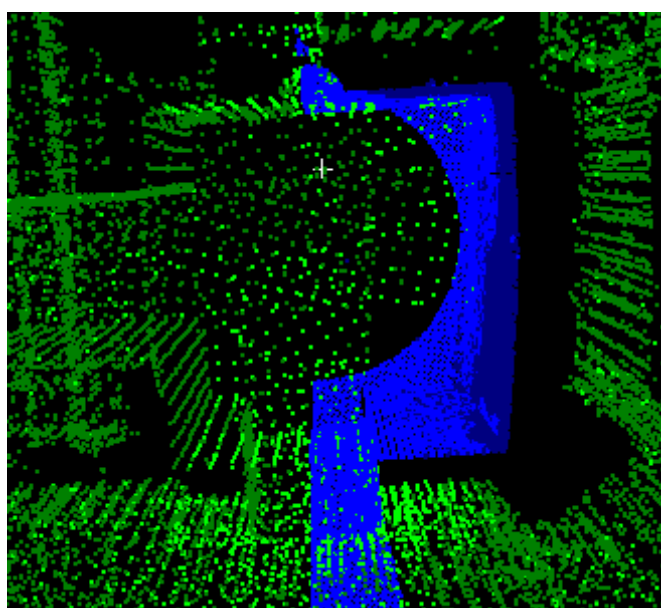


Εικόνα 23: επικάλυψη επιμέρους σαρώσεων για τη στάση S16
 ΠΗΓΗ: Cyclone

Για τη στάση S19

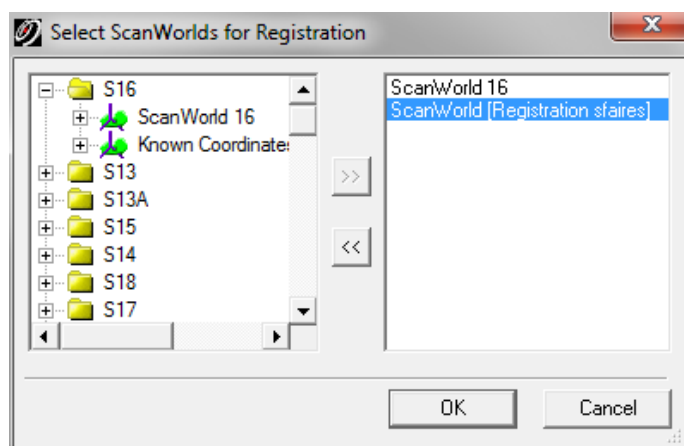
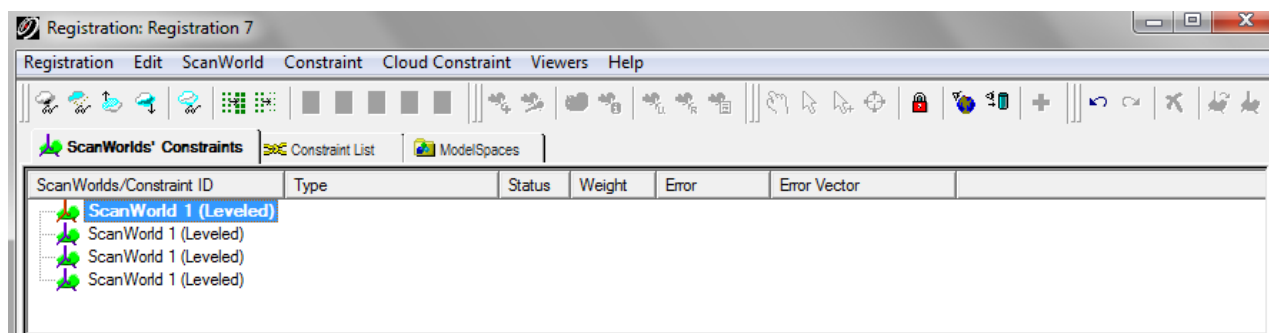
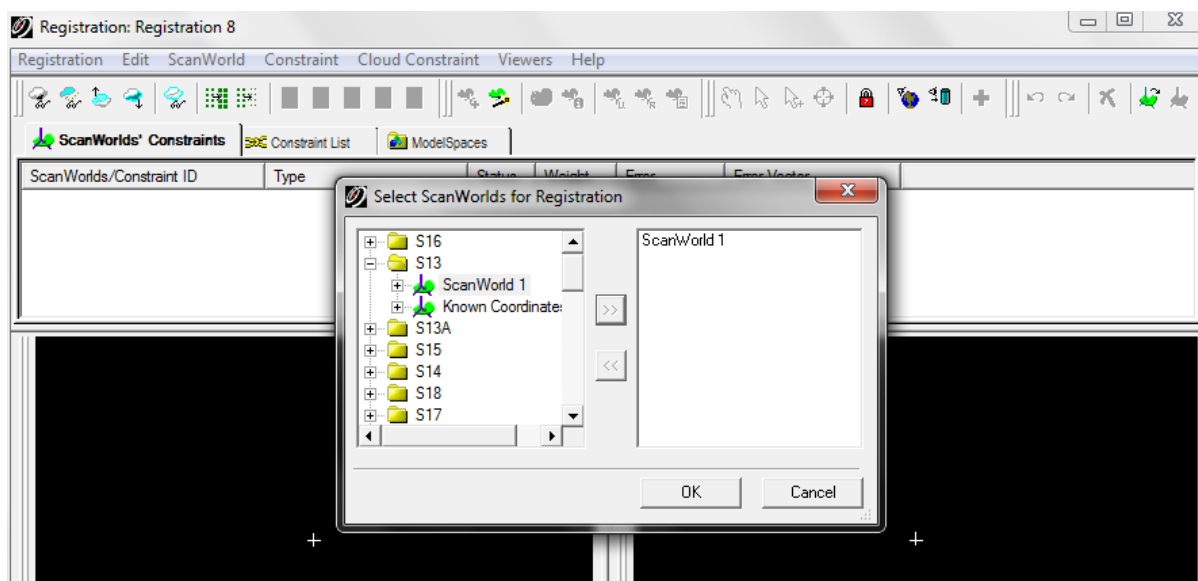


Εικόνα 24: Πίνακας αποτελεσμάτων συνένωσης νεφών (αριστερά) και Ιστόγραμμα σφαλμάτων συνένωσης (δεξιά) για τη στάση S19

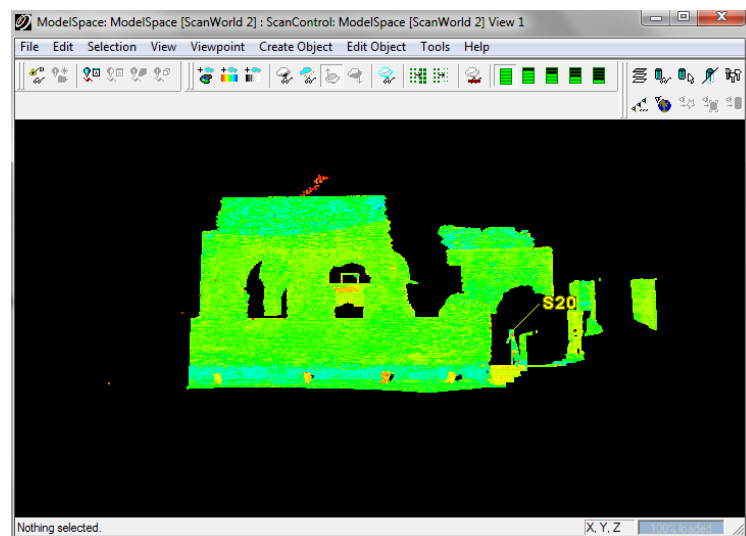
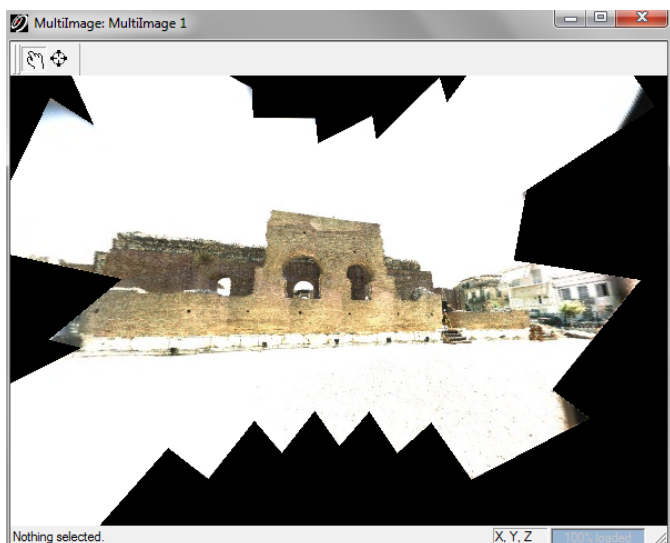


Εικόνα 25: επικάλυψη επιμέρους σαρώσεων για τη στάση S16
ΠΗΓΗ: Cyclone

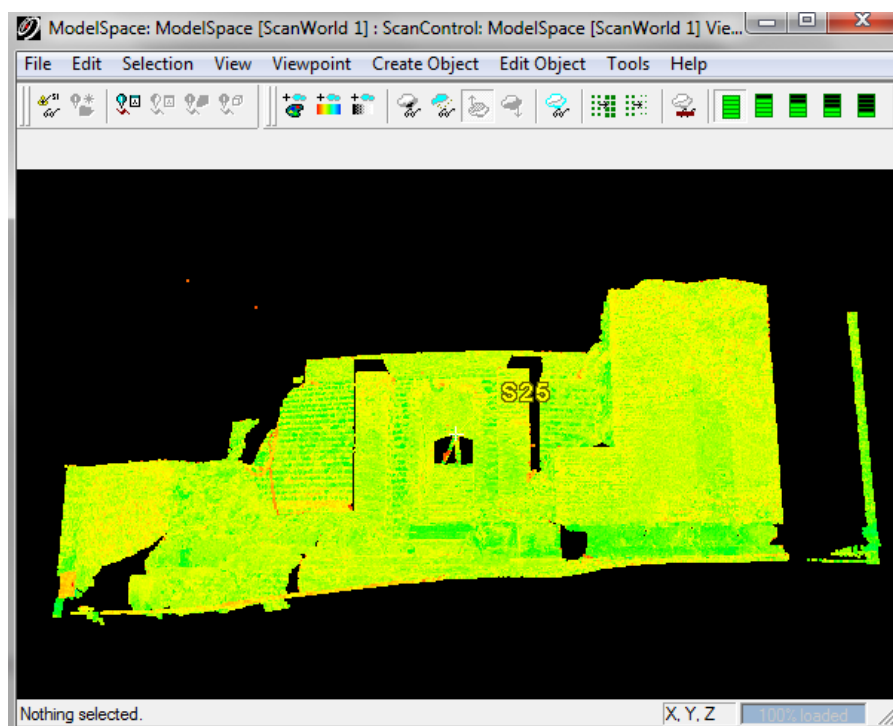
Γεωαναφορά:



Εικόνα 26: Εισαγωγή σαρώσεων για σύνδεση



Εικόνα 27: Φωτογραφία και νέφος από τη στάση S3



Εικόνα 28: Νέφος από τη στάση S9

ΠΗΓΗ:Cyclone

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Οι δύο κύριοι παράγοντες στους οποίους οφείλεται η αποτελεσματικότητα της συνένωσης επιμέρους νεφών σημείων είναι η γεωμετρία και ο αριθμός των επικαλυπτόμενων σημείων. Δεν αρκεί λοιπόν να υπάρχει μεγάλος αριθμός επικαλυπτόμενων σημείων αλλά να είναι και σωστά κατανεμημένα στο χώρο. Όπως φαίνεται στις εικόνες 21, 23, 25 υπάρχει μεγάλος αριθμός επικαλυπτόμενων σημείων στα επιμέρους point cloud σε όλο το εύρος του point cloud, κάτι που είχε σαν αποτέλεσμα και την ικανοποιητική ακρίβεια, η οποία επετεύχθη.

Μετά τη συνένωση των επιμέρους σαρώσεων, τόσο με τη μέθοδο των ομόλογων σημείων όσο και με τη γεωαναφορά, δημιουργήθηκε το συνενωμένο τρισδιάστατο μοντέλο του Ωδείου με τα εξής χαρακτηριστικά:

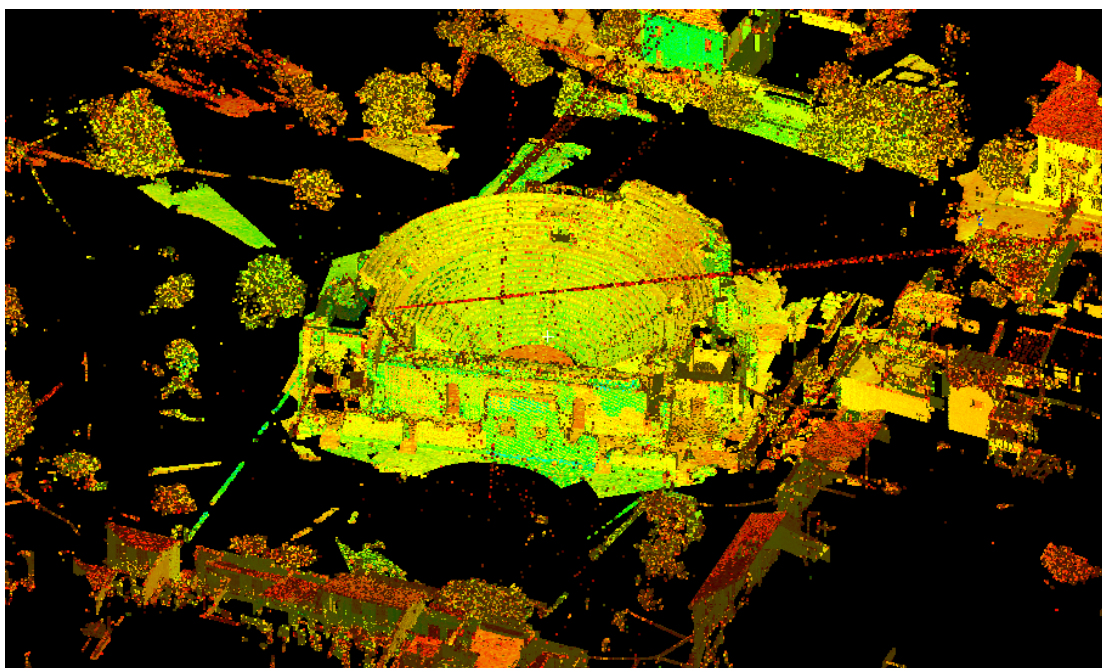
- Σάρωση από 21 στάσεις
- Αποτελείται από 30 point clouds
- Αποτυπώθηκαν περισσότερα από 1.000.000.000 σημεία
- Επιλέχθηκε resolution 5mm (εσωτερικά) - 10 mm (εξωτερικά)
- Η ελάχιστη και η μέγιστη απόσταση σαρωτή - αντικειμένου αντίστοιχα ήταν:

$$S_{min} = 1.90m$$

$$S_{max} = 39 m$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι αποστάσεις σαρωτή - αντικειμένου βρίσκονται εντός των ορίων που προβλέπονται από τις προδιαγραφές του οργάνου (0-50m) για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής ακρίβειας.

Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 29: Τρισδιάστατο μοντέλο Ωδείου

ΠΗΓΗ: Cyclone

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η πληροφορία που έχει ο χρήστης μετά τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου είναι ικανή για τη δημιουργία πλήθους παραγώγων τα οποία μπορεί να είναι σχέδια γραμμικά ή μη, ορθοφωτογραφίες, αυτόματες διατομές και βίντεο περιήγησης. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν διεξοδικά οι τρόποι με τους οποίους δημιουργήθηκαν τα παράγωγα από το συνενωμένο point cloud.

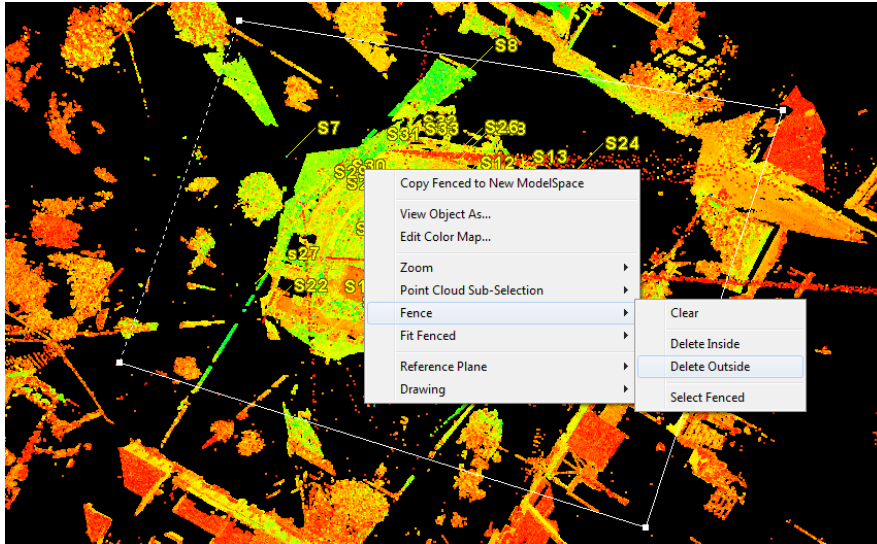
5.1. Απαλοιφή Θορύβου

Προτού ξεκινήσει η επεξεργασία των νεφών σημείων που προέκυψαν μετά τη συνένωση, πρέπει να διαγραφούν τα σημεία που αποτελούν «θόρυβο» στις μετρήσεις. Η ύπαρξη τέτοιων σημείων οφείλεται στη διαφορά μεγέθους των αντικειμένων που πρέπει να σαρωθούν. Ο σαρωτής αποτυπώνει σημεία τα οποία δεν ανήκουν στην επιφάνεια του Ωδείου και αυτά δυσχεραίνουν τη μοντελοποίηση προκαλώντας σφάλματα στο ψηφιακό μοντέλο.

Επιπλέον, οι διαφορετικές σαρώσεις αποτελούνται από εκατομμύρια σημεία, με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η επεξεργασία τους από τα λογισμικά. Έτσι, έγινε διαγραφή και άλλων σημείων που είχαν αποτυπωθεί από το σαρωτή αλλά δεν ήταν απαραίτητα κατά την περαιτέρω επεξεργασία. Οι διεργασίες διαγραφής σημείων έγιναν στο λογισμικό Cyclone. Εκτός από τις δυνατότητες συνένωσης των νεφών σημείων, το λογισμικό αυτό διαθέτει αρκετά εργαλεία που απλοποιούν το χειρισμό του νέφους.

Τα σημεία που έχουν αποτυπωθεί είναι χρωματισμένα έτσι ώστε να είναι εύκολη η αναγνώριση των αντικειμένων και να διευκολύνεται η πλοήγηση μέσα στο νέφος. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να είναι εμφανή όλα εκείνα τα σημεία τα οποία δεν αποτελούν μέρος της επιφάνειας του Ωδείου καθώς είναι εφικτή η θέαση από πολλές διαφορετικές οπτικές γωνίες. Η διαγραφή γίνεται με τη βοήθεια του εργαλείου «Fence». Με το εργαλείο αυτό

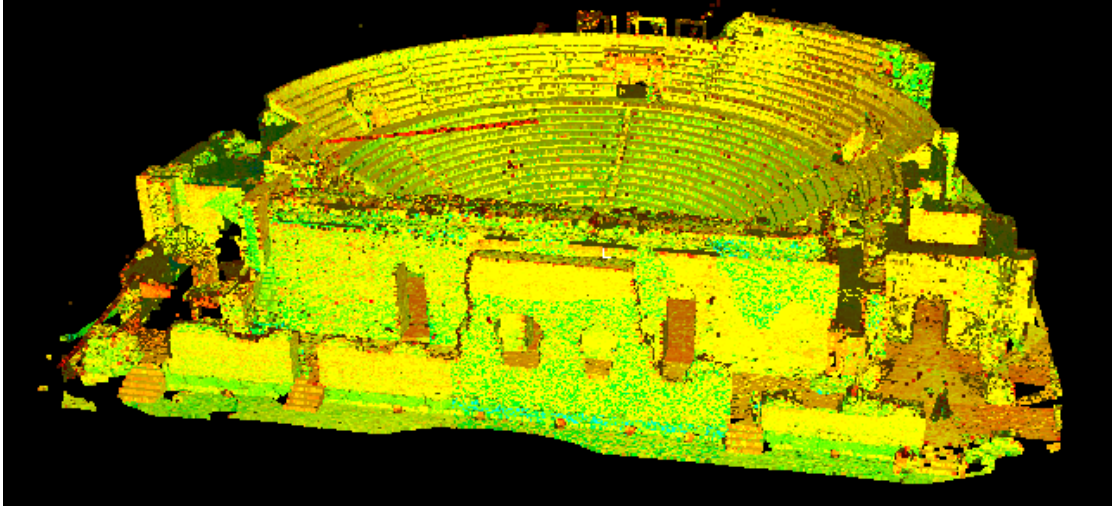
επιλέγονται τα σημεία και διαλέγεται αν πρέπει να διαγραφούν τα σημεία που βρίσκονται μέσα στο πολύγωνο που έχει δημιουργηθεί ή έξω από αυτό. (*Fence* → *Delete inside* ή *Fence* → *Delete outside*)



Εικόνα 30: Απαλοιφή θορύβου με την εντολή "Fence"

ΠΗΓΗ: Cyclone

Πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή των σημείων που θα διαγραφούν καθώς επίσης να ελέγχεται πριν την οποιαδήποτε μεταβολή αν υπάρχει η δυνατότητα αναιρέσης των αλλαγών και αν δεν υπάρχει να γίνονται διαδοχικά αντίγραφα πριν και μετά τις μεταβολές. Με την απομάκρυνση των στοιχείων που δεν είναι αναγκαία για την απόδοση του αντικειμένου αλλά και των στοιχείων θορύβου, το μέγεθος του αρχικού νέφους σημείων μπορεί να μειωθεί κατά πολύ σε σχέση με το αρχικό. [Συμεωνίδης Π.,2007].



Εικόνα 31: Τρισδιάστατο μοντέλο μετά την απαλοιφή του Θορύβου
ΠΗΓΗ: Cyclone

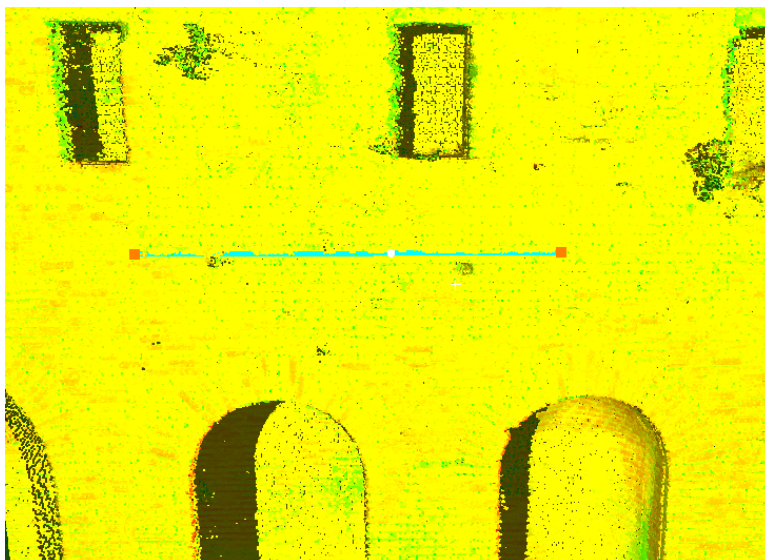
5.2. Προσανατολισμός Μοντέλου

Μετά την απαλοιφή του θορύβου, απαραίτητη διαδικασία για τη σωστή δημιουργία των σχεδίων είναι ο προσανατολισμός του μοντέλου ως προς τον επιθυμητό άξονα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχτηκε ο βασικός άξονας να είναι παράλληλος στη διεύθυνση που ορίζει ο εσωτερικός τοίχος του θεάτρου.

Η διαδικασία προσανατολισμού του Μοντέλου είναι η παρακάτω:

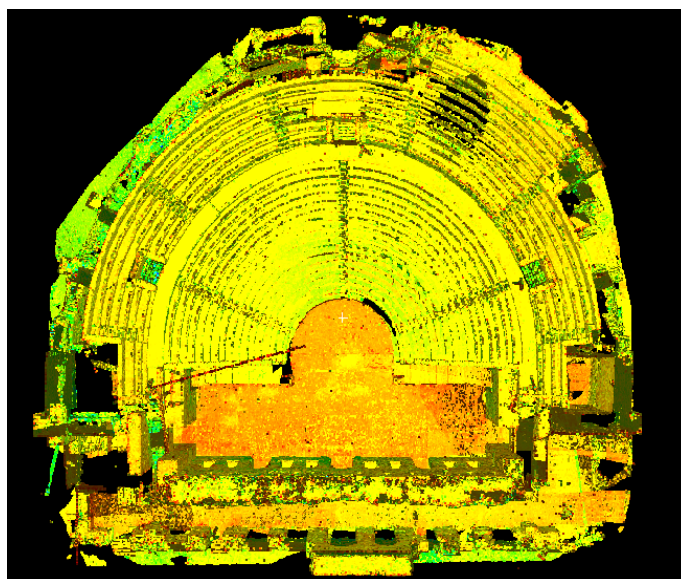
Αρχικά επιλέγονται δύο σημεία (με *multipick*) στον άξονα που επιθυμούμε να προσανατολίσουμε το μοντέλο (συγκεκριμένα στην επιφάνεια του τοίχου). Στη συνέχεια από το μενού *Create Object* → *From Pick Points* → *Line Segment* δημιουργείται ο άξονας και με δεξί κλικ από την επιλογή *edit properties* γίνεται διόρθωση των συντεταγμένων του αρχικού και τελικού σημείου του άξονα ώστε να είναι ευθύγραμμος. Έπειτα από το μενού *View* → *Coordinate System* → *Set Using One Axis* → *X Axis* δηλώνεται ο άξονας που δημιουργήθηκε σαν άξονας X. Τέλος από το μενού *View* → *Coordinate System* →

Save/Edit Coordinate Systems αποθηκεύουμε και προσανατολίζουμε το Μοντέλο ως προς τον άξονα Χ.



Εικόνα 32: Δημιουργία Άξονα Χ
ΠΗΓΗ: Cyclone

Το αποτέλεσμα της δημιουργίας του άξονα στο τρισδιάστατο μοντέλο φαίνεται παρακάτω:

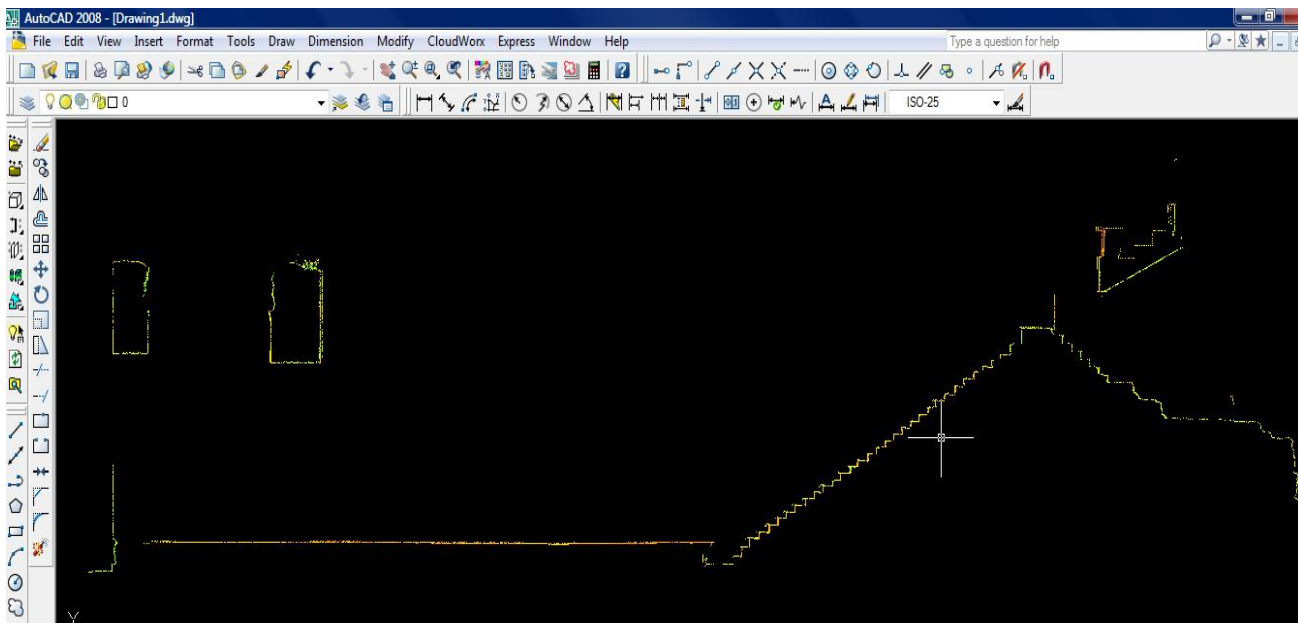


Εικόνα 33: Προσανατολισμός Ωδείου ως προς Άξονα Χ
ΠΗΓΗ: Cyclone

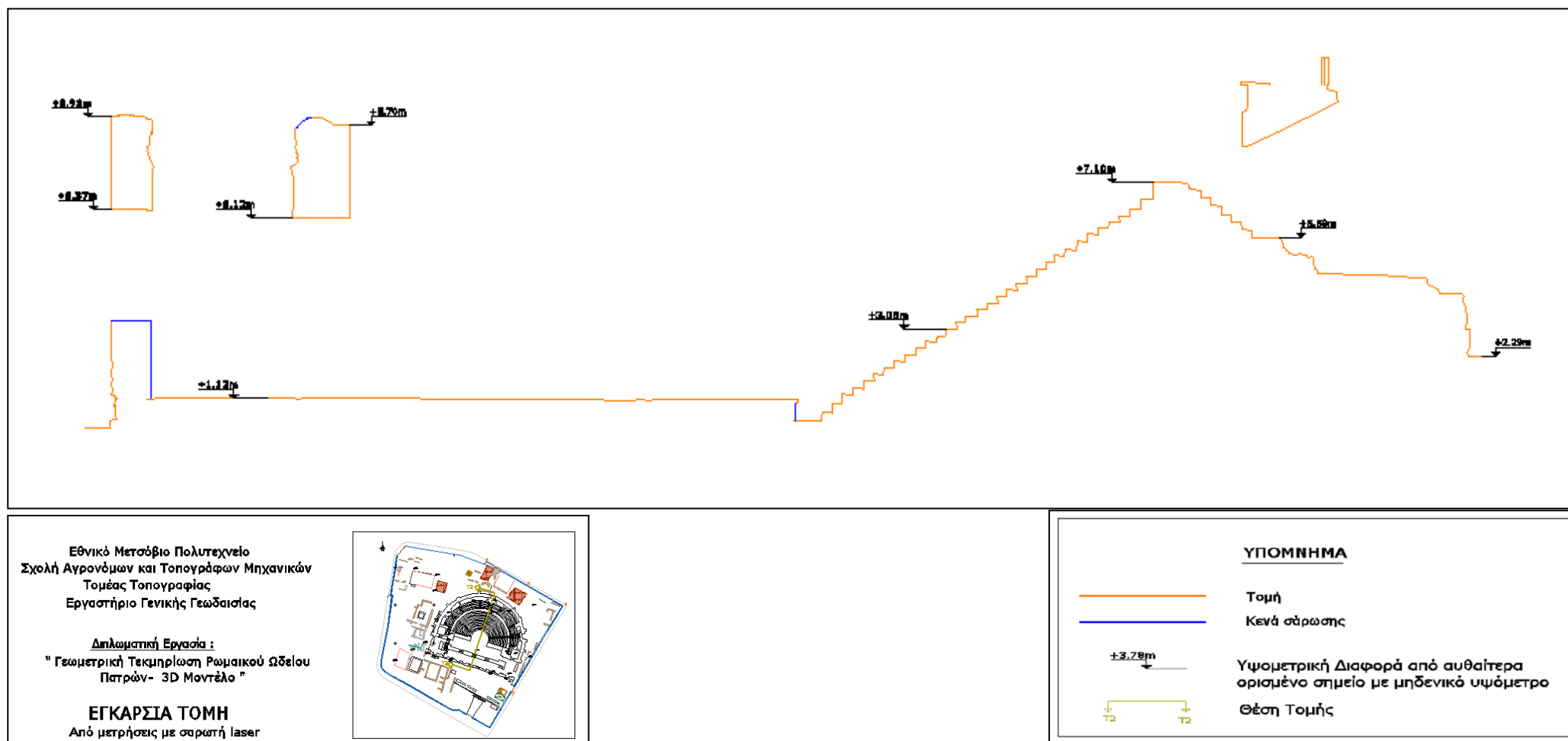
5.3. Δημιουργία Κατακόρυφης Τομής

Η εξαγωγή τομών είναι μία εύκολη και συνηθισμένη διαδικασία. Η τομή που επιλέχτηκε να δημιουργηθεί είναι η κατακόρυφη τομή στο μέσο του κοίλου του θεάτρου με σκοπό τη σύγκριση της με την αντίστοιχη τομή που προέκυψε από την τοπογραφική αποτύπωση με χρήση total station στο πλαίσιο άλλης Διπλωματικής Εργασίας (ΠΗΓΗ: Βλάχου Μαρία-Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών- Τοπογραφική Αποτύπωση - Αποτύπωση Ψηφιδωτών, 2012)

Για τη δημιουργία κατακόρυφης τομής εισάγεται απευθείας το μοντέλο στο AutoCAD μέσω του υποπρογράμματος CloudWorx. Με την εντολή *slice* "κόβεται" από το μοντέλο μια πολύ λεπτή "λωρίδα" στο σημείο που πρόκειται να σχεδιαστεί η τομή. Στη συνέχεια επιλέγεται από το menu *View* → *3D View* → *Right* για την προβολή της. Τέλος, γίνεται η λεπτομερής ψηφιοποίηση της τομής. Η ψηφιοποιημένη τομή μπορεί να αποθηκευτεί ως .dwg αρχείο για περαιτέρω επεξεργασία.



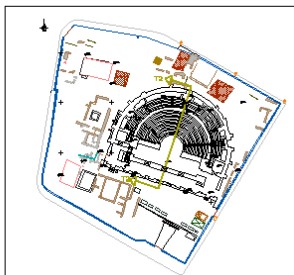
Εικόνα 34: Τομή T2-2 στο CloudWorx



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
 Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
 Τομέας Τοπογραφίας
 Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας

Διπλωματική Εργασία :
 " Γεωμετρική Τεκμηρίωση Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών- 3D Μοντέλο "

ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΟΜΗ
 Από μετρήσεις με σαρωτή laser



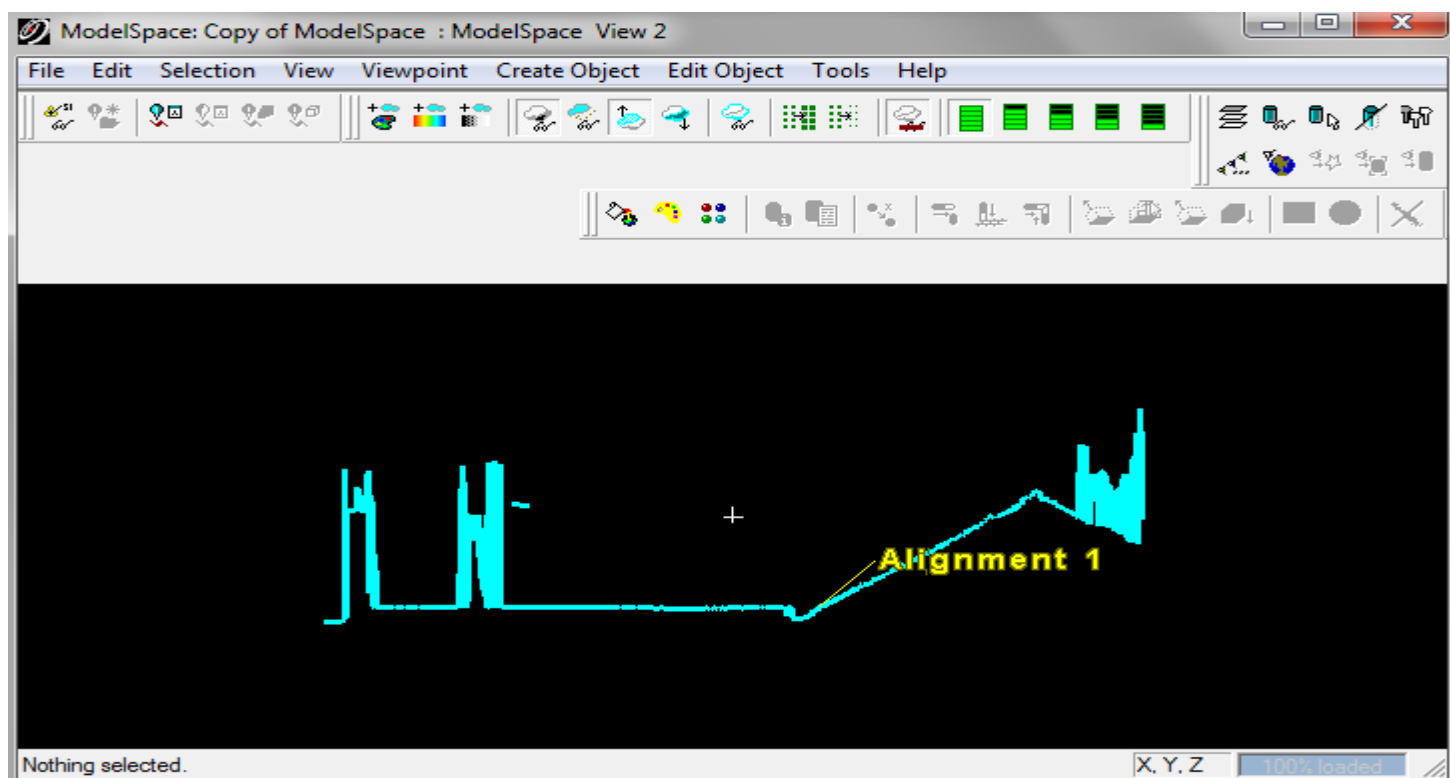
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

— Τομή
 — Κενά σάρωσης

±3.79m
 Υψομετρική Διαφορά από αυθαίτερα ορισμένο σημείο με μηδενικό υψόμετρο
 Θέση Τομής

Εικόνα 35: Τομή T2-2 από το point cloud

Αξίζει να σημειωθεί ότι το Cyclone έχει τη δυνατότητα αυτόματης δημιουργίας διατομών. Η αυτόματη διατομή που δημιουργείται στο συγκεκριμένο σημείο (τομή T2-2) φαίνεται στη εικόνα 36.



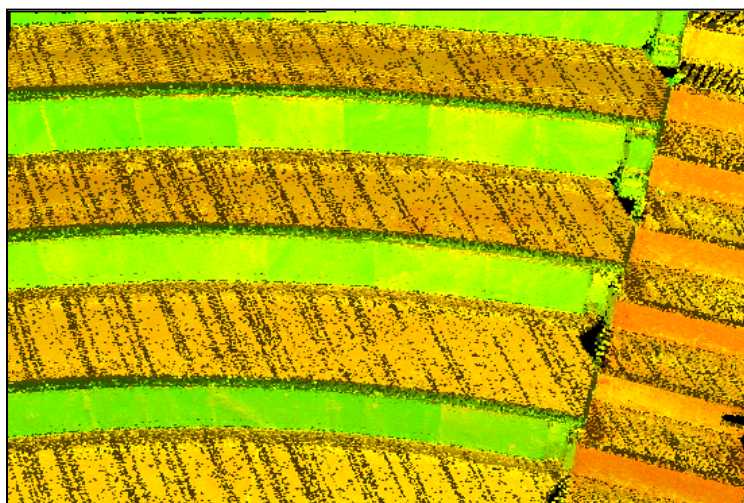
Εικόνα 36: Alignment
ΠΗΓΗ: Cyclone

Η διαδικασία με την οποία γίνεται η αυτόματη διατομή είναι η παρακάτω:

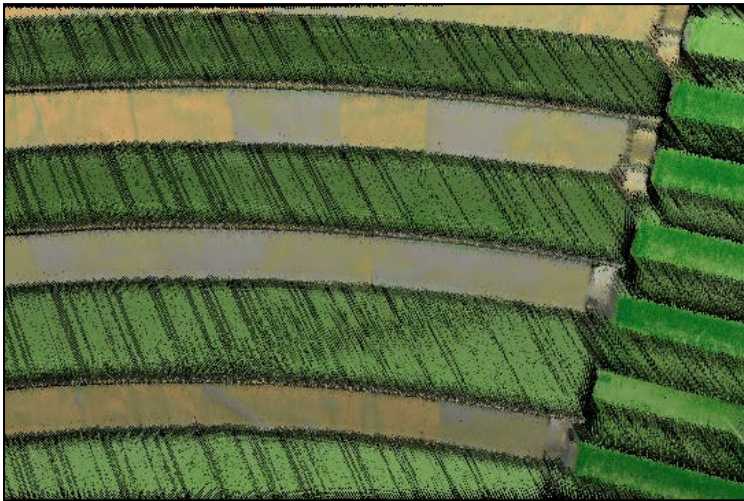
Αρχικά για τη δημιουργία της διατομής υλοποιείται μια ευθυγραμμία με *polyline* (*Create Object* → *From Pick Points* → *Polyline*). Στη συνέχεια από το menu *Tools* → *Alignment & Sections* → *Create Alignment* καθορίζεται μια αρχική τιμή για την τομή. Έπειτα από το *Tools* → *Alignment & Sections* → *Create Sections* επιλέγουμε την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών διατομών και με την εντολή *create lines* επιλέγεται η δημιουργία γραμμών βασισμένων στις τομές.

Ωστόσο όπως φαίνεται και στην εικόνα 36 το αποτέλεσμα δεν είναι ικανοποιητικό, ενώ σε πολλά σημεία παρατηρούνται και λάθη. Κατόπιν επικοινωνίας με την εταιρεία *Metrica* έγιναν κατανοητοί οι λόγοι που συμβαίνει αυτό: Αρχικά το λογισμικό *Cyclone* πραγματοποιεί *mesh* στην επιφάνεια που πρόκειται να δημιουργηθεί η διατομή. Με τον όρο *mesh* νοείται μια σειρά τριγώνων που δημιουργούνται χρησιμοποιώντας τα σημεία ενός *point cloud* (ανά τρία σημεία δημιουργείται ένα τρίγωνο). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία στην επιλεγμένη περιοχή μίας συνεκτικής επιφάνειας, η οποία δεν αποτελείται από σημεία αλλά από τρίγωνα. Το *Cyclone* έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί τριών ειδών *mesh*: το *basic*, το *complex* και το *tin*. Κατά το *Basic Meshing* δημιουργείται ένα πλέγμα από τρίγωνα τα οποία έχουν σαν κορυφές τρία γειτονικά σημεία του *point cloud*, κατά το *Complex Meshing* δημιουργείται ένα πλέγμα από τρίγωνα τα οποία έχουν σαν κορυφές τρία γειτονικά σημεία τα οποία είναι πιθανόν να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, τέλος με την επιλογή *Tin Meshing* δημιουργείται ένα πλέγμα τριγώνων των οποίων οι κορυφές ανά δύο δεν έχουν ίδιες οριζόντιες συντεταγμένες. Τα *basic* και *complex meshing* μπορούν να εφαρμοστούν μόνο όταν έχει επιλεγεί ένα *point cloud* ενώ το *tin meshing* μπορεί να εφαρμοστεί και σε παραπάνω *point clouds*.

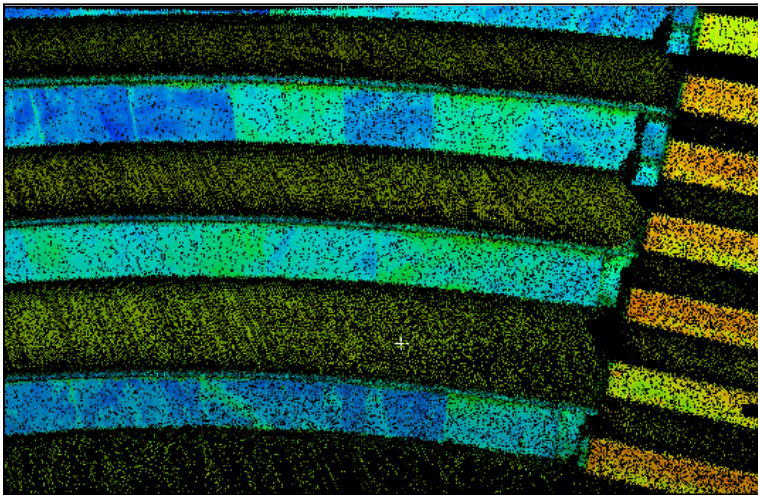
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής των τριών μεθόδων που περιγράφηκαν για τη δημιουργία επιφάνειας στο *point cloud* ενός τμήματος των κερκίδων:



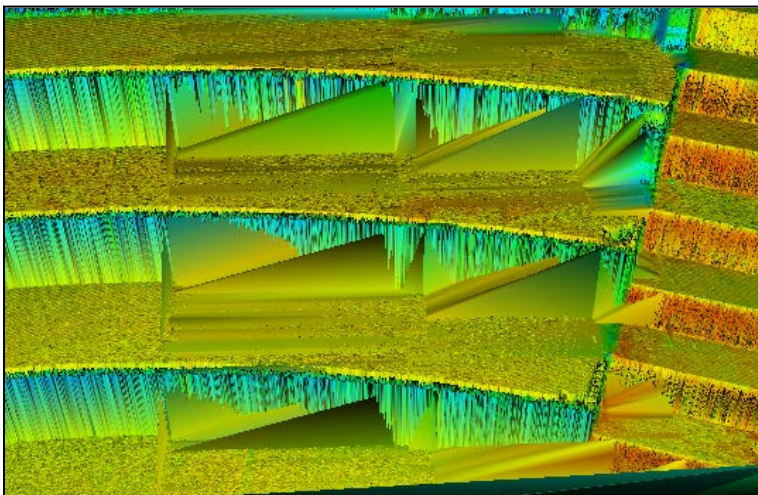
Εικόνα 37: Τμήμα *point cloud* για την εφαρμογή *mesh*
ΠΗΓΗ: *Cyclone*



Εικόνα 38: Εφαρμογή Basic Meshing
ΠΗΓΗ: Cyclone



Εικόνα 39: Εφαρμογή Complex Meshing
ΠΗΓΗ: Cyclone



Εικόνα 40: Εφαρμογή Tin Meshing
ΠΗΓΗ: Cyclone

Όπως φαίνεται και στις εικόνες η εφαρμογή τόσο του *Basic Meshing* όσο και του *Complex Meshing* δίνει αρκετά καλά αποτελέσματα, ενώ η εφαρμογή του *Tin Meshing* δεν είναι ικανοποιητική, καθώς παρατηρείται σε πολλά σημεία παραμόρφωση της επιφάνειας, κάτι που οφείλεται στη λογική λειτουργίας του software. Κατά τη δημιουργία λοιπόν αυτόματων διατομών με το Cyclone εφαρμόζεται αρχικά *Tin Meshing* στην επιλεγμένη περιοχή και στη συνέχεια με βάση την επιφάνεια που δημιουργείται, σχεδιάζονται αυτόματα οι διατομές και προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα.

5.4. Δημιουργία όψεων

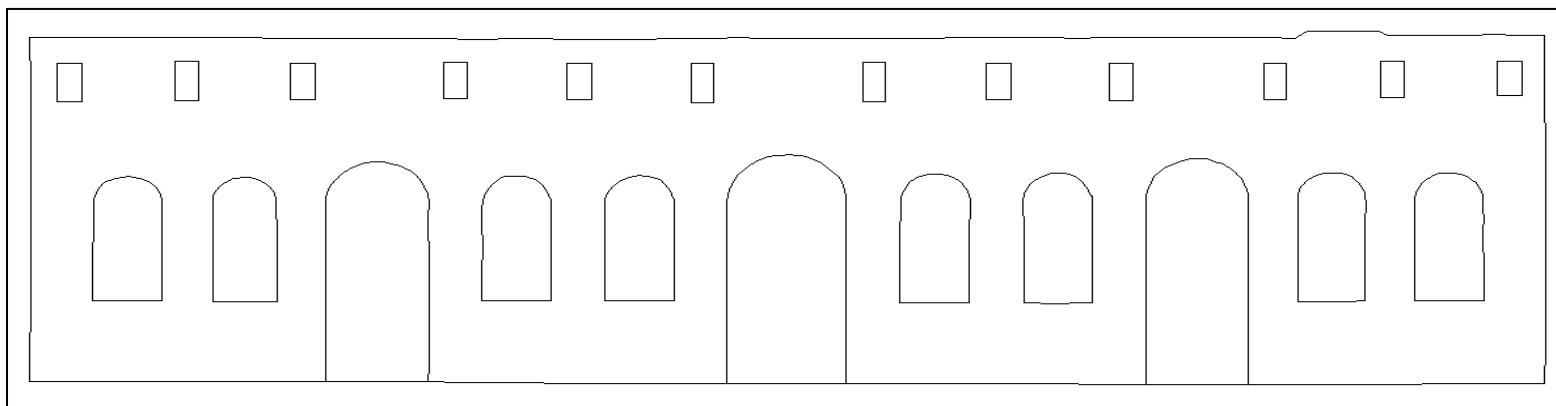
Το τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργείται από το laser scanner παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας όψεων με διάφορες τεχνικές οι οποίες ποικίλουν ανάλογα με το υπόβαθρο και το σκοπό για τον οποίο δημιουργούνται.

Έτσι, η απόδοση υψής στην όψη μπορεί να γίνει με την κατάλληλη επεξεργασία του point cloud μετά τη συνένωση των επιμέρους νεφών, με την εφαρμογή της τεχνικής *Texture Map* πάνω στο point cloud αλλά και την προσαρμογή επιφάνειας πάνω σε αυτό (*Mesh*). Παρακάτω αναλύονται και εφαρμόζονται οι τεχνικές αυτές για τη δημιουργία της Βόρειας όψης του εσωτερικού τοίχου και της Νότιας όψης του εξωτερικού τοίχου του Ωδείου.

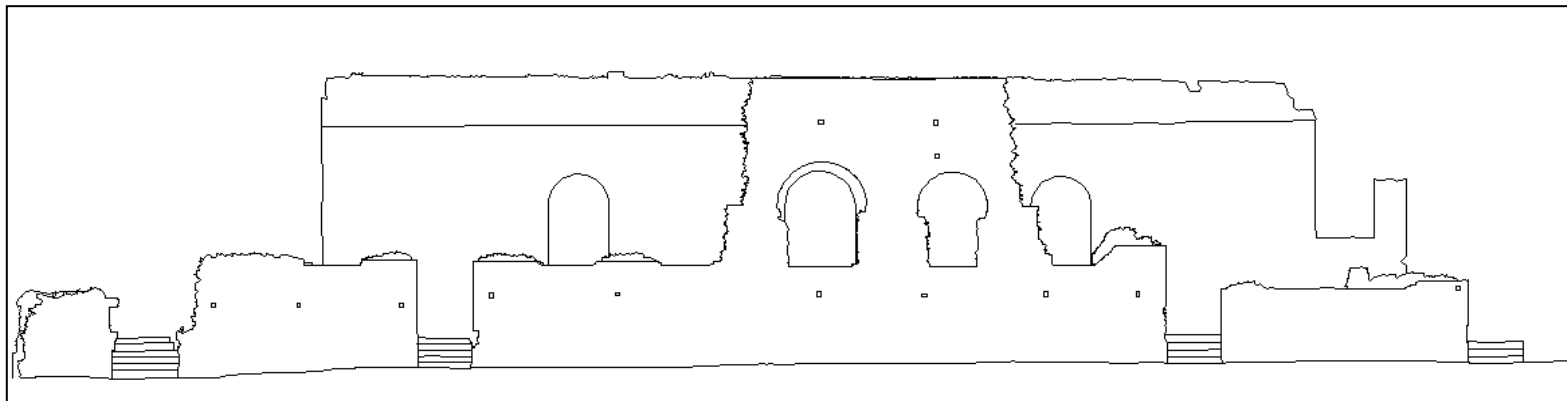
5.4.1. Επεξεργασία του Point cloud

Για τη δημιουργία των όψεων επιλέγεται αρχικά το point cloud στο οποίο απεικονίζεται το αντικείμενο που επιθυμούμε και προσανατολίζεται ως προς άξονα παράλληλο με αυτό όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 5.2.. Στη συνέχεια όπως περιγράφεται και στο Κεφάλαιο 5.3. εισάγεται το προσανατολισμένο νέφος στο AutoCAD μέσω του CloudWorkx με σκοπό την ψηφιοποίηση του περιγράμματος της όψης. Αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση του περιγράμματος, μέσω του λογισμικού Cyclone και με τις εντολές *orthometric* και *frontview* μπορεί ο χρήστης να δει κάθετα τον τοίχο. Ακολουθεί η τμηματοποίηση του Point cloud σε μικρότερα τμήματα με την εντολή *fence* και η δημιουργία αντίστοιχων

αρχείων .dxf με την υφή της όψης. Έτσι μετά τη μετατροπή των .dxf αρχείων σε .dwg εισάγονται στο σχέδιο του περιγράμματος της όψης στις σωστές συντεταγμένες (*paste to original coordinates*) και αποδίδεται η τελική όψη. Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας λόγω του μεγάλου αριθμού των σημείων του point cloud η Βόρεια όψη του εσωτερικού τοίχου διαχωρίστηκε σε τρία σχέδια - τμήματα για την καλύτερη διαχείριση των δεδομένων στο AutoCAD.

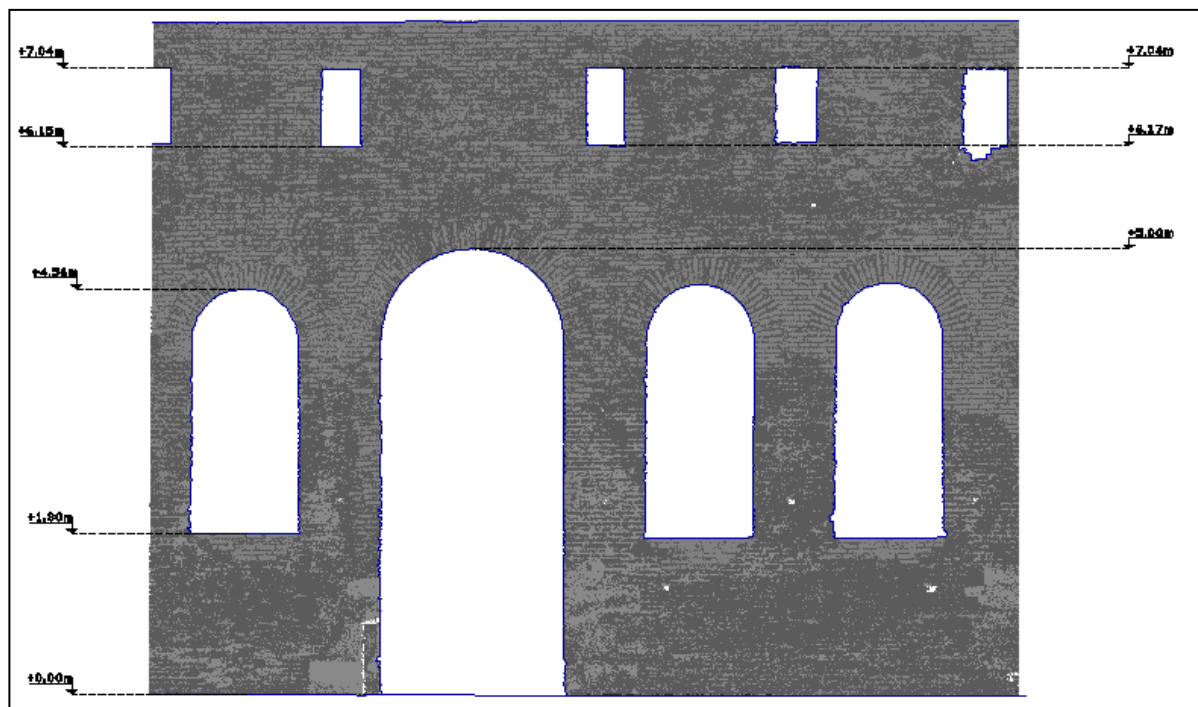


Εικόνα 41: Ψηφιοποίηση Βόρειας όψης εσωτερικού τοίχου



Εικόνα 42: Ψηφιοποίηση Νότιας όψης εξωτερικού τοίχου

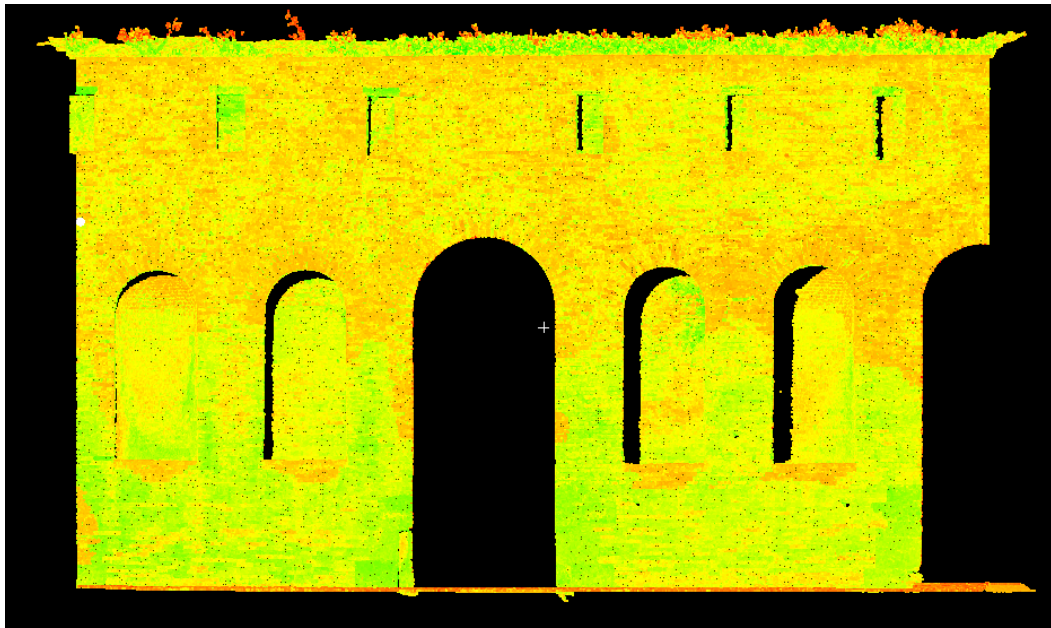
Στην Εικόνα 43 φαίνεται η εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου στον εσωτερικό τοίχο του Ωδείου. Ολόκληρη η όψη O2 βρίσκεται στο φάκελο με το Τελικά Σχέδια.



Εικόνα 43: Βόρεια όψη O2-B εσωτερικού τοίχου

5.4.2. Texture Map

Η εφαρμογή texture mapping, απεικονίζει αντικείμενα που έχουν σαρωθεί (point cloud) χρησιμοποιώντας τα χρώματα της εικόνας. Για τη δημιουργία του texture map χρειάζονται τουλάχιστον 7 ομόλογα σημεία διακριτά τόσο στο point cloud όσο και στη φωτογραφία. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή προσαρμογή της εικόνας είναι η φωτογράφιση του αντικειμένου από σωστή θέση. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία έγινε σχετική εφαρμογή στον εσωτερικό τοίχο του Ωδείου, για τη σύγκριση των δύο τεχνικών.



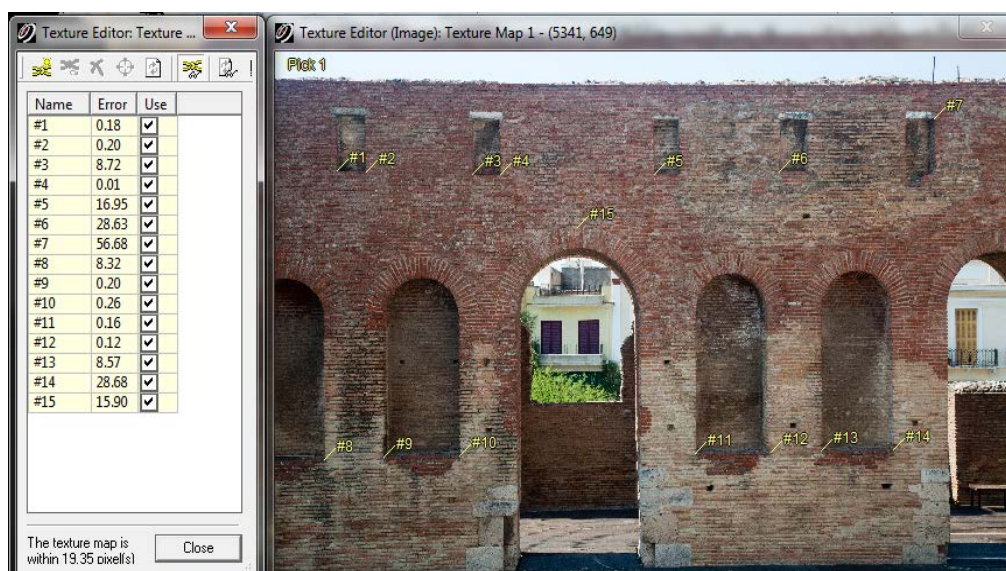
Εικόνα 44: Point cloud για την εφαρμογή Texture Map
ΠΗΓΗ: Cyclone



Εικόνα 45: Φωτογραφία από ψηφιακή μηχανή για τη δημιουργία του Texture Map

Η διαδικασία με την οποία γίνεται το *Texture Mapping* στο *Cyclone* είναι η εξής:

Αρχικά γίνεται η εισαγωγή των φωτογραφιών στο *Cyclone Navigator* ως εξής: Επιλέγεται η βάση στην οποία υπάρχουν οι σαρώσεις και από το μενού *File*→*Import* φορτώνονται οι φωτογραφίες στο *Cyclone*. Στη συνέχεια ανοίγει το *model space* και από το μενού *view* επιλέγεται *Global Texture Map*. Έπειτα με την εντολή *Edit Object*→*Appearance* →*Texture Map Browser* ανοίγει η εικόνα που απαιτείται. Αφού ανοιχθεί η εικόνα και ρυθμιστεί το *zoom*, επιλέγονται τα ίδια σημεία στην εικόνα και στο *point cloud* με την ίδια σειρά. Αφού γίνει λοιπόν η επιλογή σημείων, από την εργαλειοθήκη του *Texture Editor* επιλέγοντας *Add* και *Compute* υπολογίζονται τα σφάλματα και επιλέγονται τα 7 καλύτερα σημεία (με το μικρότερο σφάλμα). Στη συνέχεια, στο επιλεγμένο νέφος σημείων, εφαρμόζεται η εντολή *Edit Object*→*Appearance* →*Apply Color Map*→*Image Texture Map* για την προσαρμογή της εικόνας στο *Point Cloud*. Τα ομόλογα σημεία που επιλέγονται κάθε φορά πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα στη φωτογραφία για την καλύτερη προσαρμογή και την αποφυγή παραμορφώσεων. Τα σημεία που επιλέχθηκαν στο συγκεκριμένο τμήμα του τοίχου απεικονίζονται στην εικόνα 46.



Εικόνα 46: Επιλογή ομόλογων σημείων

ΠΗΓΗ: *Cyclone*

Το τελικό αποτέλεσμα στο μεσαίο τμήμα του τοίχου είναι το εξής:



Εικόνα 47: Texture Map

ΠΗΓΗ: Cyclone

Αξίζει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό και φαίνεται αρκετά καλά η όψη του τοίχου με τα πραγματικά χρώματα κάτι που οφείλεται τόσο στη λεπτομερή σάρωση του point cloud όσο και στην υψηλή ανάλυση της φωτογραφίας. Ακόμα, πρέπει να επισημανθεί ότι επειδή το αριστερό μέρος του point cloud δεν υπήρχε στη φωτογραφία (Εικόνα 47) μετά την επιλογή texture map έχει προσαρμοστεί η φωτογραφία του scanner και γι αυτό φαίνεται αυτή η αλλαγή στα χρώματα. Αντίστοιχα έγινε εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής και στα άλλα δύο τμήματα του τοίχου. Τα τελικά αποτελέσματα βρίσκονται στο φάκελο με τα τελικά σχέδια.



Εικόνα 48: Βόρεια όψη O1-B εσωτερικού τοίχου

5.4.3. Προσαρμογή Επιφάνειας -Mesh

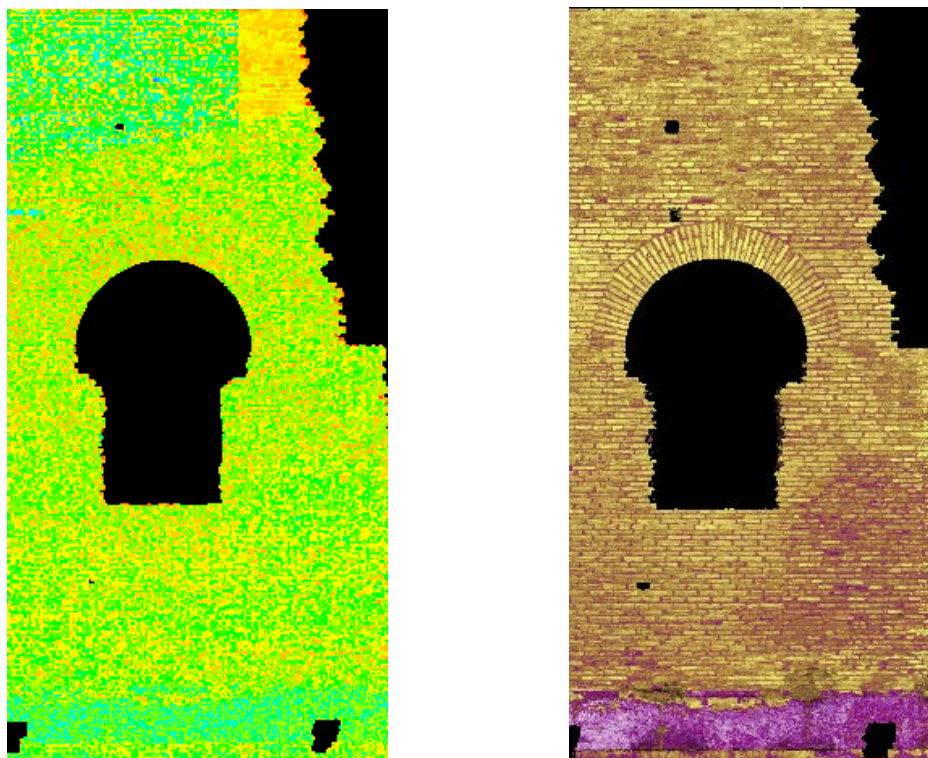
Μια διαφορετική τεχνική για την απόδοση υφής σε μια όψη είναι η προσαρμογή επιφάνειας πάνω στο point cloud. Η τεχνική αυτή επιλέγεται όταν το point cloud δεν είναι αρκετά πυκνό και επομένως δεν απεικονίζεται με λεπτομέρεια η υφή. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που ο χρήστης διαθέτει και φωτογραφικό υλικό για το αντικείμενο μπορεί αφού δημιουργηθεί το *mesh* να γίνει και προσαρμογή των φωτογραφιών με την τεχνική του *texture map* που αναφέρθηκε παραπάνω, για τη ρεαλιστική απόδοση της υφής (φυσικά χρώματα).

Η συγκεκριμένη τεχνική (*mesh*) εφαρμόστηκε για τη δημιουργία της Νότιας όψης του εξωτερικού τοίχου του Ωδείου. Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη τεχνική διότι ο εξωτερικός τοίχος σαρώθηκε με βήμα (*resolution*) 10mm, μικρότερο από τον εσωτερικό ο οποίος είχε

σαρωθεί με βήμα 5mm, για την καλύτερη απόδοση της υφής αλλά και τη σύγκριση της με τις άλλες τεχνικές.

Η διαδικασία με την οποία πραγματοποιείται το *Mesh* στο λογισμικό *Cyclone* είναι η εξής:

Επιλέγεται το point cloud στο οποίο θα προσαρμοστεί η επιφάνεια και από το μενού *Tools*→*Mesh* επιλέγεται η εντολή *Create Mesh* και στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται *complex mesh* (βλ. Κεφάλαιο 5.3.). Αφού ολοκληρωθεί το mesh υπάρχει η δυνατότητα «κλεισίματος» των πιθανών τρυπών που δημιουργούνται είτε από κενά σάρωσης είτε από τη συνένωση των τριγώνων. Αυτό γίνεται από την εντολή *Tools*→*Mesh* →*Fill Selected Hole* αφού έχει γίνει επιλογή της τρύπας.



Εικόνα 49: Point cloud πριν και μετά την εφαρμογή του mesh

ΠΗΓΗ: *Cyclone*

Το *Cyclone* δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αλλάζει το χρώμα του point cloud. Έτσι, για την καλύτερη παρουσίαση του Ωδείου επιλέχθηκε από το μενού *View*→*View Object As*→*Color Map Parameters* η απόχρωση *Topo 3* όπου διακρίνονται τα διαφορετικά υλικά

που παρουσιάζονται στην όψη του τοίχου. Συγκεκριμένα τα ξύλινα σκαλοπάτια φαίνονται με πράσινο χρώμα, το μάρμαρο που βρίσκεται στη βάση του τοίχου αλλά και ο αρμός φαίνονται με μωβ ενώ τα κεραμικά τουβλάκια με μπεζ.

Αυτή η εναλλαγή των χρωμάτων οφείλεται στη διαφορετική ανακλαστικότητα του κάθε υλικού. Το Cyclone έχει τη δυνατότητα παρουσίασης της τιμής της ανακλαστικότητας για κάθε σημείο του point cloud. Έτσι, παρατηρήθηκε ότι η τιμή της ανακλαστικότητας ενός τμήματος του Point cloud το οποίο απεικόνιζε μάρμαρο κυμαινόταν από 0,38-0,45 ενώ αυτό που απεικόνιζε τούβλο από 0,26-0,32.

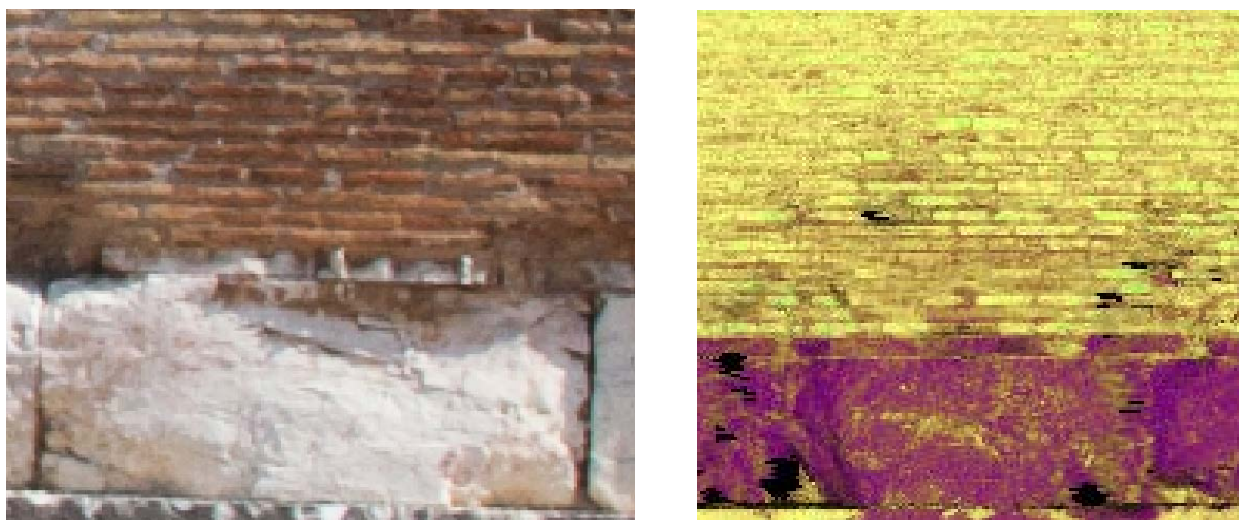
1.287918	-13.659500	1.644333	0.273457	170	151	108
1.288040	-13.660812	1.653122	0.281697	224	192	141
1.288101	-13.661484	1.664658	0.302693	251	207	146
1.288620	-13.667068	1.676773	0.319905	243	206	161
1.288803	-13.669144	1.685837	0.297871	204	181	147
1.289108	-13.672653	1.697952	0.281697	149	140	111
1.289047	-13.671921	1.709427	0.336889	154	146	109
1.288956	-13.671005	1.717911	0.294514	199	176	134
1.289017	-13.671555	1.729507	0.318685	170	155	114
0 0 0	0.500000	0 0 0				
1.278763	-13.673599	1.646103	0.291768	207	175	136
1.278152	-13.667282	1.653976	0.319539	231	185	135
1.278305	-13.668930	1.665665	0.300923	246	196	143
1.278763	-13.673996	1.677689	0.303731	240	202	165
1.279251	-13.679153	1.687180	0.275349	197	170	141
1.279037	-13.677078	1.698593	0.320638	154	137	109
1.278885	-13.675369	1.709976	0.313252	185	171	124
1.278915	-13.675949	1.718674	0.328145	241	206	152
1.279434	-13.681625	1.730942	0.289998	204	178	127
1.279678	-13.684219	1.740189	0.304219	127	129	92
1.269516	-13.682755	1.646744	0.307820	215	183	136
1.269394	-13.681534	1.657944	0.310506	252	202	149
1.269455	-13.682297	1.666763	0.281453	255	215	160
1.269852	-13.686691	1.678787	0.328939	243	206	161
1.270004	-13.688095	1.690567	0.271870	204	182	133
1.269485	-13.682785	1.698563	0.308553	176	160	111
1.269577	-13.683701	1.710251	0.293843	235	210	154
1.269730	-13.685410	1.719315	0.297566	249	206	153
1.270309	-13.691757	1.731674	0.267536	233	205	157
0 0 0	0.500000	0 0 0				
1.260025	-13.695419	1.648331	0.297566	191	177	130
1.259842	-13.693497	1.656967	0.292378	237	202	146

Εικόνα 50: Τιμές ανακλαστικότητας τούβλου
ΠΗΓΗ: Cyclone

0 0 0	0.500000	0 0 0				
4.893051	-9.565781	-1.100418	0.433082	255	255	255
4.893204	-9.566055	-1.096359	0.418494	255	255	255
4.894821	-9.569229	-1.092606	0.404883	255	255	255
4.893845	-9.567307	-1.088211	0.427527	255	255	255
4.895004	-9.569626	-1.084366	0.412085	255	255	255
4.896317	-9.572159	-1.080490	0.426246	255	255	255
4.895889	-9.571304	-1.076279	0.436561	255	255	255
4.896500	-9.572556	-1.072250	0.439673	255	255	255
4.896530	-9.572586	-1.068100	0.425513	255	255	255
4.898483	-9.576401	-1.064346	0.442176	255	255	255
4.899673	-9.578720	-1.060440	0.443580	255	255	255
4.900864	-9.581070	-1.057816	0.433143	255	255	255
4.899460	-9.578293	-1.053391	0.443824	255	255	255
4.899185	-9.577744	-1.049118	0.429664	255	255	255
0 0 0	0.500000	0 0 0				

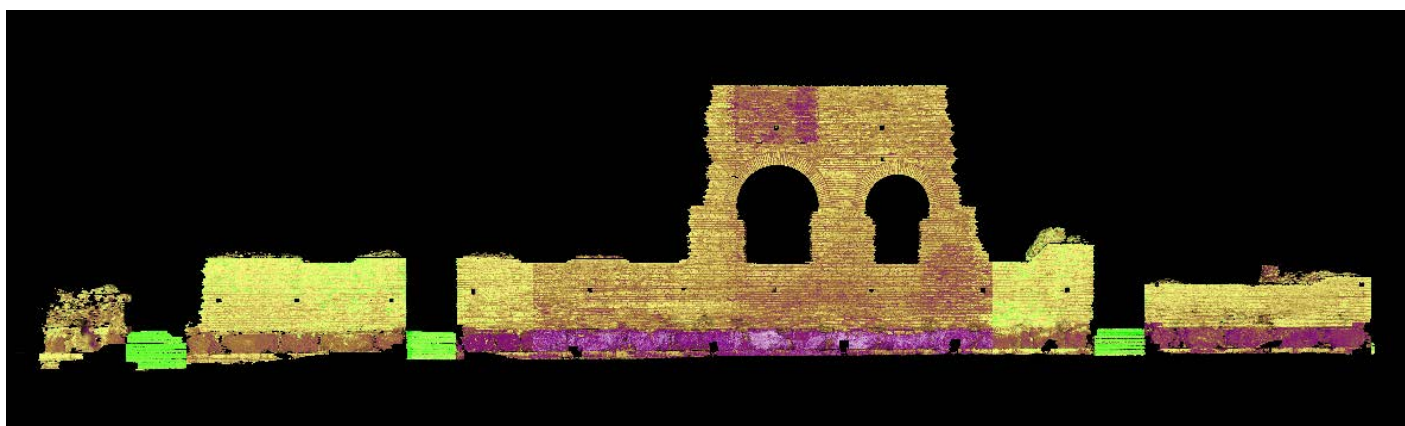
Εικόνα 51: Τιμές ανακλαστικότητας
μαρμάρου
ΠΗΓΗ: Cyclone

Αυτή η διαφορά στην τιμή της ανακλαστικότητας μπορεί να οφείλεται είτε στη διαφορετική γωνία πρόσπτωσης (γι' αυτό διαφορετικές σαρώσεις μπορεί να έχουν διαφορετικές αποχρώσεις στη σάρωση του ίδιου αντικειμένου), είτε στο υλικό του αντικειμένου που σαρώνεται (στην ακτινοβολία που απορροφά το συγκεκριμένο υλικό).



Εικόνα 52: Απεικόνιση διαφορετικών υλικών με φυσικά χρώματα (αριστερά) και με mesh topo3 (δεξιά)

ΠΗΓΗ: *Cyclone*

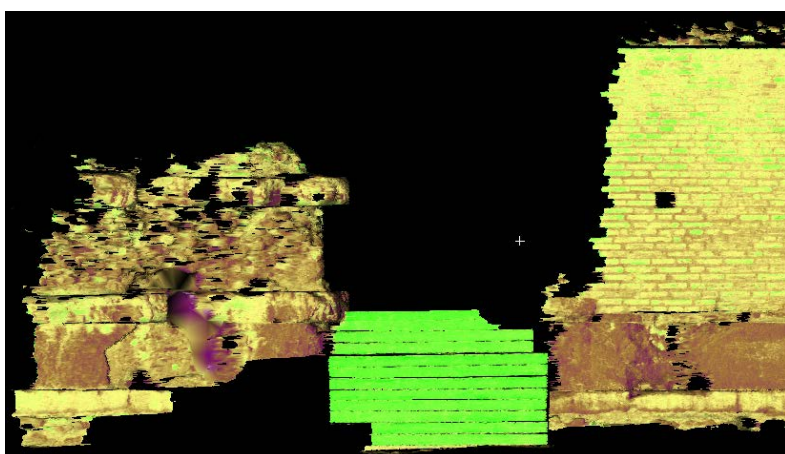


Εικόνα 53: Νότια όψη εξωτερικού τοίχου Ωδείου με mesh

ΠΗΓΗ: *Cyclone*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Η όψη ως παράγωγο μετρήσεων μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο από μηχανικούς για την εξαγωγή μετρητικών στοιχείων όσο και από αρχαιολόγους και συντηρητές ως υπόβαθρο για τυχόν εργασίες αποκατάστασης. Έτσι το υπόβαθρο, η ζητούμενη κλίμακα και ο σκοπός της δημιουργίας της όψης είναι τα κριτήρια για την επιλογή της τεχνικής που θα χρησιμοποιηθεί για την απόδοση υψής σε μια όψη.

Έτσι, η εφαρμογή της πρώτης τεχνικής (επεξεργασία του point cloud με τη λεπτομερή ψηφιοποίηση του είναι χρήσιμη για τους συντηρητές οι οποίοι επιζητούν σχέδια με μεγάλη λεπτομέρεια με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατάσταση του αντικειμένου. Η τεχνική του texture map απαιτεί φωτογραφικό υλικό υψηλής ανάλυσης και δίνει τη ρεαλιστική εικόνα του αντικειμένου με τα φυσικά χρώματα. Τέλος η τεχνική προσαρμογής επιφάνειας -mesh έχει το πλεονέκτημα της λεπτομερούς απεικόνισης ενός *αραιού* point cloud. Βεβαία αξίζει να τονίσουμε ότι η τεχνική mesh πραγματοποιείται με ακριβέστερα αποτελέσματα όταν το αντικείμενο είναι επίπεδο. Έτσι, όπως φαίνεται και στην εικόνα 54 το αριστερό τμήμα του τοίχου δεν ήταν επίπεδο, καθώς σε αυτό δεν έχει γίνει επένδυση με τούβλα όπως στο δεξιό, κάτι που είχε σαν αποτέλεσμα την αδυναμία προσαρμογής επιφάνειας σε αυτό.



Εικόνα 54: Αδυναμία προσαρμογής επιφάνειας σε μη επίπεδο αντικείμενο
ΠΗΓΗ: Cyclone

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι καλύτερα αποτελέσματα για την απόδοση της υψής σε μια όψη δίνει ο συνδυασμός της τεχνικής του mesh και του texture map αφού η φωτογραφία προσαρμόζεται πάνω σε επιφάνεια και όχι σε σημεία με αποτέλεσμα την καλύτερη απόδοση της υψής του αντικειμένου με τα φυσικά του χρώματα.

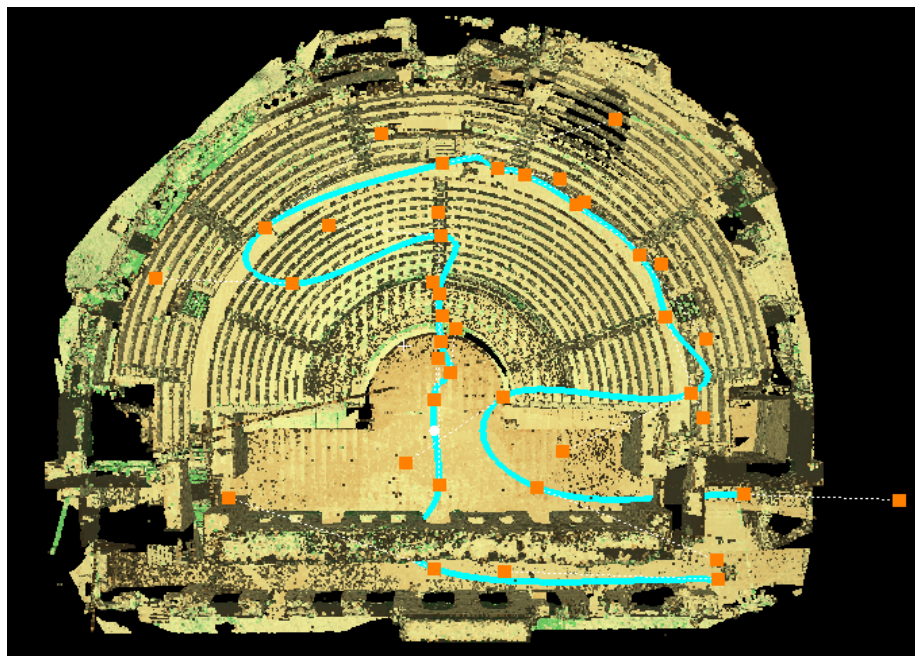
5.5. Δημιουργία Video- Animation

Το Cyclone παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας video-animation για την καλύτερη παρουσίαση της περιοχής που σαρώνεται. Για τη δημιουργία του ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα: Αρχικά καθορίζεται η διαδρομή που θα ακολουθήσουν οι κάμερες στο point cloud. Ο καθορισμός γίνεται με *multi pick* στο σημείο που θα τοποθετηθεί η κάθε κάμερα και από το μενού *create object* → *insert* → *camera height* ορίζεται το ύψος της κάμερας. Στη συνέχεια επιλέγονται με *multi pick* οι κάμερες με τη σειρά που έχουν τοποθετηθεί και από το μενού *tools*, με τις εντολές: *tools* → *animation* → *create path* και *tools* → *animation* → *set path*, σχεδιάζεται και ορίζεται η διαδρομή του animation. Η αλλαγή του προσανατολισμού στις κάμερες γίνεται από το μενού *edit object* → *handles* → *show rotation handles*. Για τον καθορισμό της διάρκειας του animation επιλέγεται από το μενού *tools* → *animation* → *animation editor*. Από το παράθυρο του *animation editor* ορίζεται η αφετηρία του animation (from) και ο αριθμός των καμερών που έχουν τοποθετηθεί (to). Ακόμα ορίζεται το *number of frames between keyframes* (αριθμός φωτογραφιών μεταξύ διαδοχικών καμερών) και επιλέγεται *set*. Από το μενού *selection* → *set selectable* απενεργοποιείται η ορατότητα της κάμερας. Τέλος από το μενού *tools* → *animation* → *animate*. Στο παράθυρο *animation settings* επιλέγεται *to file prefix* και από το κουμπί αναζήτησης δημιουργείται ένας φάκελος με το όνομα animation και ονομάζεται το αρχείο με κατάληξη *.bmp*. Στο *Frames* επιλέγεται το *all* και στο *antialiasing* επιλέγεται *high* → *animate*.

Αξίζει να σημειωθεί ότι επειδή το Cyclone δεν έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει τις εικόνες σε video χρειάζεται κάποιο άλλο λογισμικό για την ένωση των εικόνων και προβολή του video που δημιουργήθηκε, όπως για παράδειγμα το Windows movie maker των Windows το Bmp2Avi και το Adobe Premiere Pro.

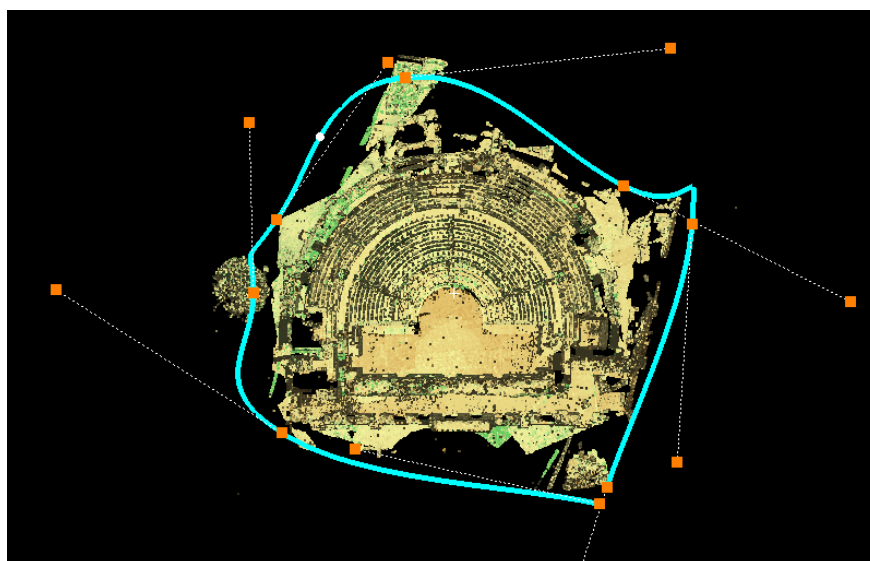
Για την καλύτερη αναπαράσταση και προβολή του Ωδείου δημιουργήθηκαν δύο video-animation εκ των οποίων το πρώτο προβάλλει το εσωτερικό μέρος του Ωδείου (σκηνή, προσκήνιο, κερκίδες, διαζώματα, προεδρείο και ορχήστρα) ενώ το δεύτερο τους εξωτερικούς τοίχους που το περιβάλλουν.

Για τη δημιουργία του εσωτερικού animation τοποθετήθηκαν 20 κάμερες έγινε εφαρμογή σε 45.000.000 σημεία και δημιουργήθηκαν 600 φωτογραφίες. Το path που προέκυψε είναι το εξής:



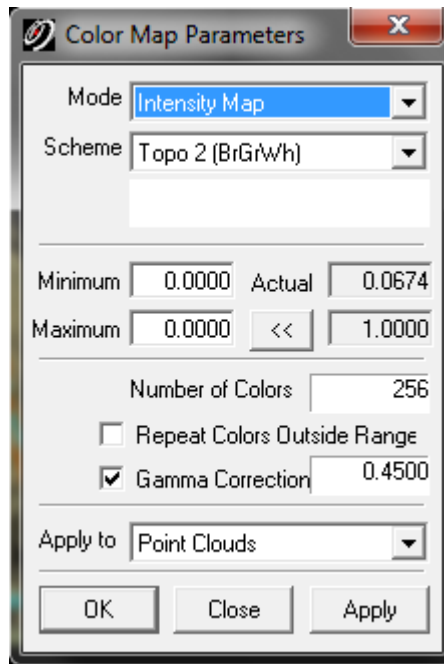
Εικόνα 55: Δημιουργία path για το εσωτερικό animation video
ΠΗΓΗ: Cyclone

Τέλος, για τη δημιουργία του εξωτερικού animation τοποθετήθηκαν 8 κάμερες, έγινε εφαρμογή σε 45.000.000 σημεία και δημιουργήθηκαν 600 φωτογραφίες. Το path που δημιουργήθηκε φαίνεται στην εικόνα 56:



Εικόνα 56: Δημιουργία path για το εξωτερικό animation video
ΠΗΓΗ: Cyclone

Για την καλύτερη παρουσίαση του Ωδείου επιλέχθηκε από το μενού View → View Object As → Color Map Parameters → Topo 2.



Εικόνα 57: Παράθυρο Color Map Parameters

ΠΗΓΗ: Cyclone

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. ΤΕΛΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο συγκεκριμένο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τελικά σχέδια του Ωδείου, συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την όλη εργασία και δίνονται κάποιες σκέψεις για περαιτέρω συνέχεια της.

6.1. Τελικά Σχέδια

Παράλληλα με την παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε και δεύτερη στο χώρο του Αρχαίου Ωδείου (ΤΗΓΗ: Βλάχου Μαρία- Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών- Τοπογραφική Αποτύπωση - Αποτύπωση Ψηφιδωτών, 2012), οι μετρήσεις της οποίας έγιναν με χρήση Total Station. Λόγω των συγκρίσεων που έγιναν μεταξύ των δύο αυτών Διπλωματικών Εργασιών αλλά και για την πληρότητα τους, στα τελικά σχέδια περιλαμβάνεται το σύνολο των σχεδίων και από τις δύο μελέτες με σκοπό την ολοκληρωμένη παρουσίαση του Ωδείου. Έτσι, στο φάκελο με τα τελικά σχέδια περιέχονται:

- η οριζοντιογραφία
- η κάθετη τομή κατά μήκος των κερκίδων
- οι όψεις των δύο κεντρικών τοίχων του Ωδείου
- το μωσαϊκό στη νοτιοδυτική πλευρά
- τα video animation που δημιουργήθηκαν

6.2. Συμπεράσματα

Στην ενότητα αυτή γίνεται εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων, όπως προκύπτουν από την αξιολόγηση των εργασιών που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια για την τεκμηρίωση πολύπλοκων γεωμετρικά σχηματισμών, όπως είναι ένα αρχαίο μνημείο. Επίσης αξιολογείται ο τρόπος με τον οποίο έγινε η συλλογή και η επεξεργασία των δεδομένων και προτείνονται εναλλακτικοί τρόποι εργασίας με στόχο τη βελτιστοποίηση του τελικού αποτελέσματος.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα παρακάτω:

- ❖ Στις γεωδαιτικές εφαρμογές, ο σαρωτής laser σε συνδυασμό με άλλες τοπογραφικές μεθόδους αποτύπωσης μπορεί να δώσει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα και ειδικά σε αποτυπώσεις κτηρίων, ακόμα και αντικειμένων όπου παρουσιάζονται προβλήματα πρόσβασης, εγγύτητας και πολυπλοκότητας. Έτσι οι διάφορες μέθοδοι Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης δίνουν καλύτερα αποτελέσματα όταν συνδυάζονται και όχι όταν χρησιμοποιούνται η μία ανεξάρτητα από τις άλλες.
- ❖ Το τρισδιάστατο μοντέλο του Ωδείου παρέχει τόσο μετρητική όσο και ποιοτική πληροφορία. Αυτό το κάνει κατάλληλο τόσο για επιστημονική μελέτη όσο και για άλλους σκοπούς (εκπαιδευτικούς, τουριστικούς κ.λ.π.).
- ❖ Το κόστος απόκτησης του σαρωτή ScanStation 2 είναι πολύ μεγάλο, όμως το ασύγκριτο πλεονέκτημα της χρήσης του για τέτοιου είδους εργασίες είναι η ικανότητα συλλογής πολύ μεγάλου πλήθους σημείων σε μικρό χρονικό διάστημα,
- ❖ Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα δημιουργίας γεωμετρικών τομών με σαρωτή laser, σε σύγκριση με τις μεμονωμένες τομές που προκύπτουν από τις μετρήσεις με (reflectorless) total station, είναι η δυνατότητα δημιουργίας πλήθους κάθετων και οριζόντιων τομών για ένα μόνο μοντέλο χωρίς επιπλέον μετρήσεις.
- ❖ Η άσχημη κατάσταση του προσκηνίου, της σκηνής και των παρασκηνίων του Ωδείου, έκανε χρονοβόρα και απαιτητική τη διαδικασία της σάρωσης για να επιτευχθεί το

καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα διότι το έδαφος ήταν ασταθές (ξύλινες σανίδες). Αυτό ήταν εμπόδιο για την ίδρυση επιπλέον στάσεων στα σημεία αυτά για την αποφυγή των «κενών» στις σαρώσεις.

❖ Χρησιμοποιώντας Total Station γίνεται αποτύπωση «σημείο προς σημείο» επιτυγχάνοντας διακριτή ακρίβεια σε κάθε σημείο ενώ στην αποτύπωση με χρήση laser scanner επιτυγχάνεται ενιαία σχετική ακρίβεια σε ολόκληρο το νέφος.

❖ Ο μεγάλος όγκος δεδομένων του τρισδιάστατου μοντέλου - περίπου 900.000.000 σημεία - δημιουργούσε πρόβλημα στην επεξεργασία των δεδομένων για την ολοκλήρωση των παραγώγων. Έτσι, ίσως ήταν απαραίτητο ένα καλύτερο υπολογιστικό μηχάνημα με μεγαλύτερη φυσική μνήμη για τη διευκόλυνση των εργασιών.

❖ Είναι γεγονός ότι ένας έμπειρος χρήστης με πιο σύγχρονο εξοπλισμό (καλύτερο υπολογιστικό μηχάνημα) θα χρειαζόταν λιγότερο χρόνο, καθώς πιθανώς να μην αντιμετώπιζε κανένα από τα προβλήματα που συναντήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

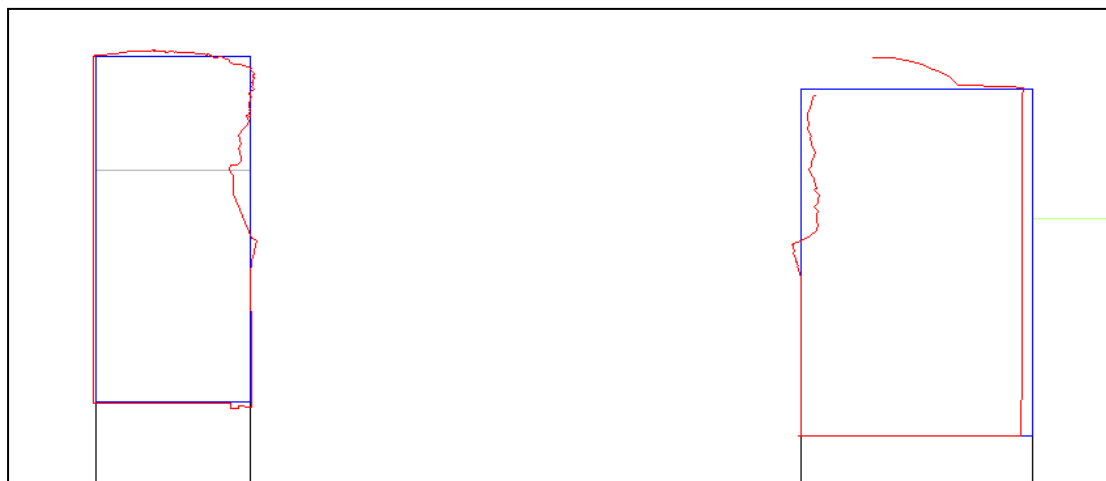
❖ Παρόλο που οι προδιαγραφές του σαρωτή που χρησιμοποιήθηκε (Scan Station 2) επιτρέπουν σάρωση με οριζόντιο εύρος 360° και κατακόρυφο 270°, στην πράξη η επιλογή σάρωσης σε τόσο μεγάλο εύρος δημιουργεί προβλήματα και πολλές φορές λόγω του πλήθους των σημείων που καλείται να αποτυπώσει το όργανο παύει να αποκρίνεται. Έτσι, διαπιστώθηκε ότι η δημιουργία μικρών και σύντομων χρονικά σαρώσεων οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα και με λιγότερο κόπο και θόρυβο.

6.2.1. Σύγκριση Τομών

Αφού σχεδιάστηκαν οι τομές τόσο από τις μετρήσεις με το Total Station όσο και από το τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του CloudWorx τοποθετήθηκαν σε κοινό αρχείο με σκοπό τη σύγκριση τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Σε γενικές γραμμές οι δύο τομές συμπίπτουν με πολύ μικρές διαφορές που δικαιολογούνται από τη διαφορά των δύο μεθόδων. Το resolution που δόθηκε στο σαρωτή για τη δημιουργία του μοντέλου ήταν 0,005m με αποτέλεσμα τα σημεία να βρίσκονται πολύ

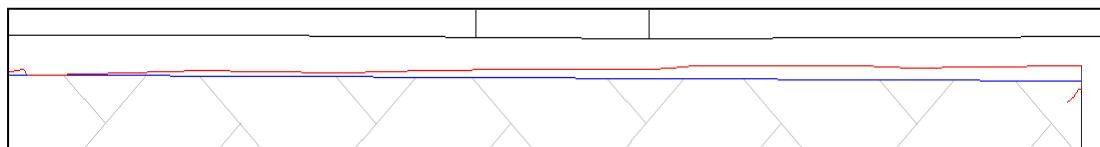
κοντά και έτσι η τομή να έχει ψηφιοποιηθεί με πολύ λεπτομέρεια, ενώ με τη χρήση Total Station δεν είναι δυνατή η αποτύπωση πολλών και πολύ κοντινών σημείων λεπτομέρειας, αφού η τοπογραφική διαδικασία βασίζεται στο σημείο προς σημείο αποτύπωση (αποτύπωση διακριτών σημείων). Παρακάτω θα αναλυθούν οι διαφορές. Με μπλε χρώμα φαίνεται η τομή με το Total Station ενώ με κόκκινο η τομή με το laser scanner.



Εικόνα 58: Σύγκριση τομών ως προς τις λεπτομέρειες των τοίχων

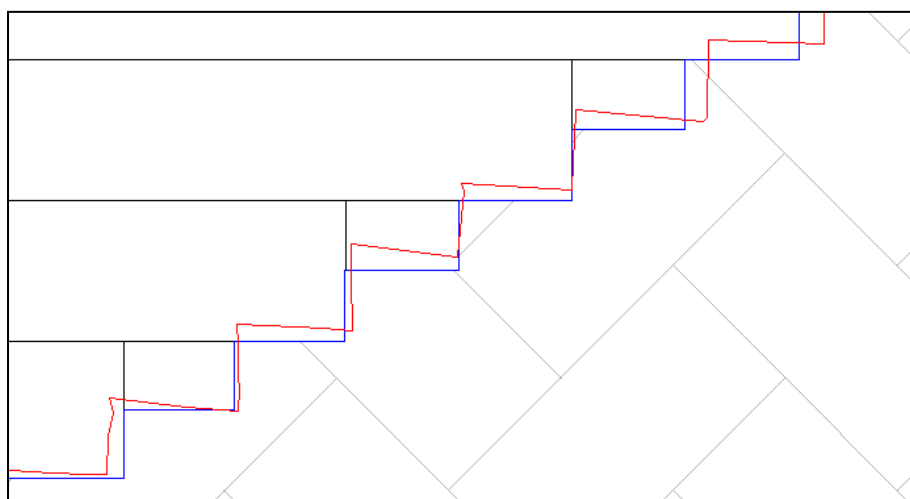
Όπως φαίνεται στην εικόνα 58 στην τομή με το laser scanner παρατηρείται πολύ λεπτομέρεια στην απόδοση του τοίχου, κάτι το οποίο ήταν αδύνατο να αποτυπωθεί με το total station.

Στην εικόνα 59 φαίνεται ένα μέρος του προσκηνίου και της ορχήστρας η οποία είναι κατασκευασμένη από ξύλινες σανίδες. Την εποχή των μετρήσεων, είχαν διαβρωθεί και είχαν χαλάσει σε κάποια σημεία, με αποτέλεσμα ο σαρωτής (κόκκινη γραμμή) να δείχνει ακριβώς την κατάσταση της σκηνής ενώ με τις μετρήσεις με το total station θεωρήθηκε ότι το προσκηνίο με την ορχήστρα είναι επίπεδη και δεν λήφθηκαν υπόψη οι ατέλειες τους.



Εικόνα 59: Σύγκριση τομών ως προς την απόδοση της σκηνής

Ομοίως και στα σκαλιά που βρίσκονται στο κέντρο του κοίλου υπάρχει διαφορά στις δύο τομές αφού ήταν ξύλινα και σε άσχημη κατάσταση (εικόνα 60)



Εικόνα 60: Σύγκριση τομών ως προς την απόδοση των σκαλιών

Αξίζει να σημειωθεί ότι η τομή που δημιουργήθηκε από το Total Station συμπληρώθηκε με τη χρησιμοποίηση δεδομένων από το τρισδιάστατο μοντέλο του για μια πιο πλήρη απεικόνιση της κατάστασης.

6.3. Προτάσεις

Με την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της, αξίζει να σημειωθούν ορισμένες προτάσεις για τυχόν μελλοντική και επιπρόσθετη διερεύνηση του θέματος.

Οι προτάσεις που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη μελέτη είναι οι παρακάτω:

- ❖ Συνδυασμός της παρούσας μεθοδολογίας με φωτογραμμετρικές μεθόδους, καθώς θα ήταν δυνατή η παραγωγή υψηλής ποιότητας εικονιστικών προϊόντων. Παράλληλα θα υπήρχε η δυνατότητα παραγωγής πραγματικά φωτορεαλιστικού μοντέλου για τις ανάγκες της εικονικής περιήγησης.
- ❖ Χρήση διαφορετικού επίγειου σαρωτή: Θα ήταν χρήσιμο ένα ακόμα πιο γρήγορο και ελαφρύ όργανο ώστε να μειωθεί περισσότερο ο χρόνος στο ύπαιθρο και να ελαχιστοποιηθούν τα κενά στην πληροφορία.
- ❖ Σαν συνέχεια της συγκεκριμένης εργασίας θα μπορούσε να γίνει εισαγωγή και επεξεργασία των νεφών σημείων σε κάποιο άλλο πρόγραμμα όπως το *Polyworks*, το *Geomagic* ή το *3DReshaper* και να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων και των δυνατοτήτων των διαφόρων λογισμικών.
- ❖ Να επιχειρηθεί και η σάρωση του εξωτερικού χώρου του Ωδείου μαζί με το σύνολο των διακοσμητικών στοιχείων που υπάρχουν (σαρκοφάγοι, κίονες και ερείπια από κτίσματα) τα οποία απεικονίζονται στην οριζοντιογραφία για την ολοκληρωμένη τρισδιάστατη απεικόνιση του περιβάλλοντα χώρου και την καλύτερη ανάδειξη του.
- ❖ Ο επιμελής καθαρισμός του ίδιου του Ωδείου και του περιβάλλοντα χώρου καθώς και η σάρωση από επιπλέον θέσεις μπορεί να καλύψει τα «κενά» που υπάρχουν στο μοντέλο και συγκεκριμένα στο πίσω μέρος του Ωδείου (απέναντι από τη Σ8) όπου υπάρχει ένα τούνελ ανάμεσα από τους δύο τοίχους και κάτω από τις κερκίδες το οποίο

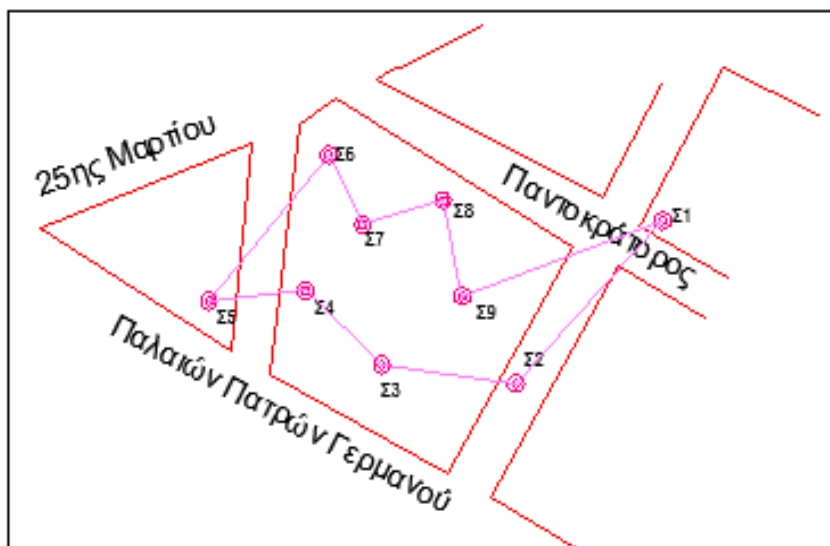
δεν ήταν δυνατό να σαρωθεί λόγω της ύπαρξης μπάζων και απορριμμάτων. Επίσης στα παρασκήνια, η ύπαρξη αντικειμένων που χρησιμοποιούνται στις παραστάσεις που λαμβάνουν χώρα στο Ωδείο έκανε αδύνατη τη σάρωση του συγκεκριμένου τμήματος.

❖ Χρήση του τρισδιάστατου μοντέλου και των Video περιήγησης για την προώθηση και τη διαφήμιση του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών με σκοπό την ανάδειξη του τόσο στο εσωτερικό όσο και το εξωτερικό και την αύξηση της επισκεψιμότητάς του.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

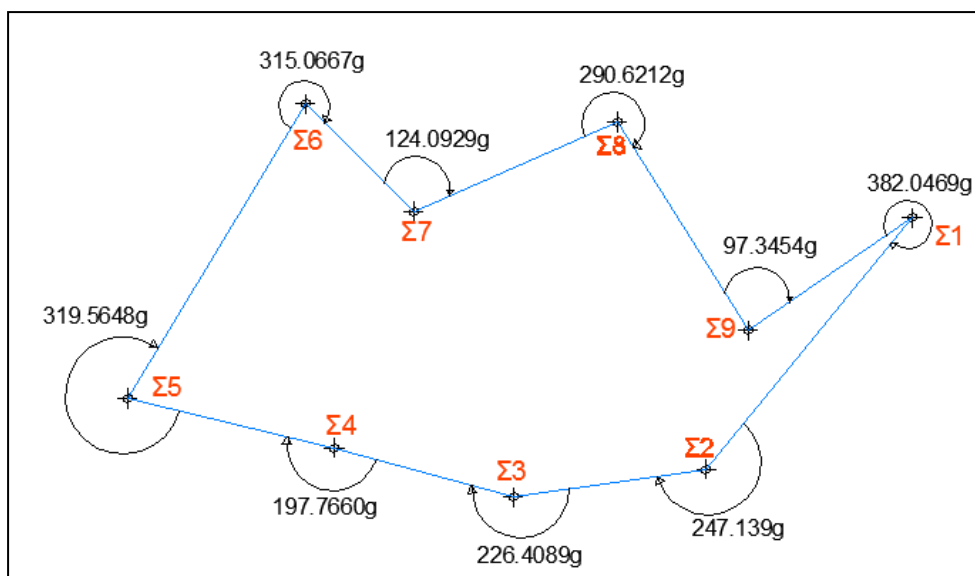


Εικόνα 61: Έγκριση από τη ΣΤ' ΕΦΟΡΕΙΑ ΠΡΟΪΣΤ.& ΚΛΑΣ.ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ για την εκπόνηση Διπλωματικής Εργασίας

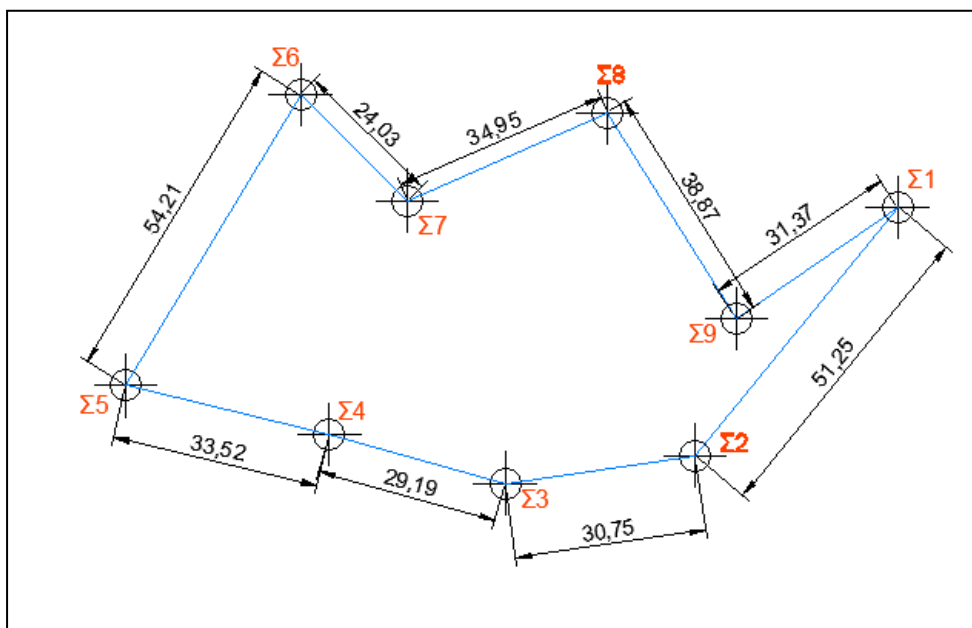


Εικόνα 62: Προϋπάρχον πολυγωνομετρικό δίκτυο

ΠΗΓΗ: Βλάχου Μαρία- Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών- Τοπογραφική Αποτύπωση - Αποτύπωση Ψηφιδωτών, 2012.



Εικόνα 63: Εξωτερικές γωνίες όδεσης



Εικόνα 64: Μήκη όδευσης

ΠΗΓΗ: Βλάχου Μαρία- Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών- Τοπογραφική Αποτύπωση - Αποτύπωση Ψηφιδωτών, 2012.

ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

- 29/05/2012 Αναγνώριση Περιοχής
- 30/5/2012 Ίδρυση των στάσεων της όδευσης (Σ1-Σ9)
Μέτρηση της όδευσης με τη μέθοδο των Τριών Τριπόδων
- 31/5/2012 Μετρήσεις με GPS, Ένταξη της όδευσης στο ΕΓΣΑ 87
Ίδρυση στάσεων για την αποτύπωση και μετέπειτα σάρωση του Ωδείου και μέτρηση των συντεταγμένων τους με GPS
Έναρξη Αποτύπωσης
- 1-5/6/2012 Αποτύπωση Ρωμαϊκού Ωδείου με χρήση Reflectorless Total Station TCR 405 της Leica
- 6-10/6/2012 Εργασίες γραφείου
- 11-12-13-14/6/2012 Σάρωση του Ωδείου με χρήση Laser Scanner (*Scan Station 2 της Leica*) και παράλληλη ίδρυση νέων στάσεων με χρήση Ο.Γ.Σ., για τις ανάγκες της σάρωσης

Συγκεκριμένα:

11/6 σάρωση από τις στάσεις Σ16, Σ13, Σ15 και Σ14

12/6 σάρωση από τις στάσεις Σ18, Σ17 και Σ19

13/6 σάρωση από τις στάσεις Σ3, Σ19, Σ23, Σ9, Σ24 και Σ25

14/6 σάρωση από τις στάσεις Σ8, Σ27, Σ7, Σ31, Σ29 και Σ30

- 15/6/2012 Κλείσιμο «τρυπών» για την οριζοντιογραφία με χρήση Reflectorless Total Station *TCR 405 της Leica*
Τοπομετρικός Έλεγχος
- 16-24/6/2012 Εργασίες Γραφείου
- 25-26-27/6/2012 Ολοκλήρωση της σάρωσης του Ωδείου

Συγκεκριμένα:

25/6 σάρωση από τις στάσεις Σ32 και Σ41

27/6 σάρωση από τις στάσεις Σ26 και Σ28

Σάρωση - Φωτογράφιση ψηφιδωτών και των μπροστινών τοίχων

<i>Στάση οργάνου</i>	<i>Στάση σφαίρας</i>	<i>ΥΟ</i>	<i>ΥΣ</i>
Σ16	Σ15	1,777m	1.678m
Σ13	Σ15	1,372m	1.678m
Σ15	Σ12	1.787m	1.705m
Σ14	Σ12	1.829m	1.705m
Σ18	Σ17	1.751m	1.552m
Σ17	Σ15	1.803m	1.538m
Σ17	Σ18	1.803m	1.578m
Σ19	Σ18	1.539m	1.578m
Σ3	Σ20	1.679m	1.564m
Σ3	Σ21	1.679m	1.570m
Σ19	Σ18	1.717m	1.572m
Σ23	Σ18	1.672m	1.572m
Σ9	Σ25	1.666m	1.332m
Σ24	Σ9	1.661m	1.581m
Σ25	Σ9	1.275m	1.581m
Σ19	Σ18	1.60m	1.692m
Σ8	Σ26	1.653m	1.554m

Σ27	Σ22	1.646m	1.535m
Σ7	Σ29	1.611m	1.561m
Σ31	Σ29	1.372m	1.561m
Σ31	Σ33	1.372m	1.501m
Σ29	Σ30	1.777m	1.578m
Σ30	Σ29	1.453m	1.507m
Σ28	Σ29	1.440m	1.602m
Σ26	Σ48	1.783m	1.737m
Σ41	Σ25	1.483m	1,321m

Πίνακας 4: Συνοπτικός πίνακας για ΥΣ -ΥΟ κατά τη διάρκεια της σάρωσης

Χαρακτηριστικά Ο. Γ. Σ. TCR 405 της Leica

- Δυνατότητα μέτρησης μήκους με ή χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα
- Δυνατότητα ορατής ή όχι εκπομπής της δέσμης laser
- Ατέρμονες κοχλίες κίνησης (δηλαδή το όργανο δεν έχει πάκτωση) για τις οριζόντιες και τις κατακόρυφες μετακινήσεις
- Βάρος 5.2 kg (συμπεριλαμβανομένης της μπαταρίας και όχι της βαλίτσας)
- Για τις γωνίες έχει απόδοση 3cc και ακρίβεια $\pm 15cc$
- Βεληνεκές για μέτρηση σε έναν ανακλαστήρα:
 - 1800m (πυκνή ομίχλη, ορατότητα 5km, ή δυνατή ηλιοφάνεια, ισχυρές αντανάκλασεις λόγω θερμότητας),
 - 3000m (αραιή ομίχλη, ορατότητα περίπου 20km, ή ελαφρά ηλιοφάνεια, ασθενείς αντανάκλασεις λόγω θερμότητας) και
 - 3500m (νεφελώδη ουρανό, χωρίς ομίχλη, ορατότητα περίπου 40km, καθόλου αντανάκλαση λόγω θερμότητας)

- Για τα μήκη με χρήση ανακλαστήρα έχει απόδοση 1mm, με χρόνο μέτρησης 2.4sec και ακρίβεια $\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$
- Βεληνεκές για μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα στην Kodak White Card:
 - 200m (αντικείμενο σε δυνατή ακτινοβολία, ισχυρές αντανάκλασεις λόγω θερμότητας),
 - 300m (αντικείμενο είναι σε σκιά ή συννεφιά) και
 - μεγαλύτερο από 400m (ημέρα, νύχτα και λυκόφως)
- Βεληνεκές για μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα (γκρι, λευκαύγεια 0.25, δηλαδή ο λόγος της ποσότητας του φωτός που ανακλάται στην επιφάνεια προς το φως που λαμβάνει να είναι 0.25):
 - 100m (αντικείμενο σε δυνατή ακτινοβολία, ισχυρές αντανάκλασεις λόγω θερμότητας)
 - 150m (αντικείμενο σε σκιά ή συννεφιά) και
 - μεγαλύτερο από 200m (ημέρα, νύχτα και λυκόφως)
- Για μήκη μέχρι 500m χωρίς χρήση ανακλαστήρα έχει απόδοση 1mm, με χρόνο μέτρησης 3-6sec, και ακρίβεια $\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$
- Για μήκη μεγαλύτερα από 500m χωρίς χρήση ανακλαστήρα έχει απόδοση 1mm, με χρόνο μέτρησης 12sec, και ακρίβεια $\pm 4\text{mm} \pm 2\text{ppm}$
- Βεληνεκές για μέτρηση σε ανακλαστήρα, αλλά με λειτουργία RL (λειτουργία για μέτρηση μήκους χωρίς ανακλαστήρα):
 - 2200m (πυκνή ομίχλη, ορατότητα 5km, ή δυνατή ηλιοφάνεια, ισχυρές αντανάκλασεις λόγω θερμότητας),
 - 7500m (αραιή ομίχλη, ορατότητα περίπου 20km, ή ελαφρά ηλιοφάνεια, ασθενείς αντανάκλασεις λόγω θερμότητας) και
 - μεγαλύτερο από 10000m (νεφελώδης ουρανός, χωρίς ομίχλη, ορατότητα περίπου 40km, καθόλου αντανάκλαση λόγω θερμότητας). Αυτή η διαδικασία αυξάνει σημαντικά την εμβέλεια του οργάνου.

- Μια ορατή ερυθρή ακτίνα laser, κατακόρυφη πάνω στον ΠΠΠ' άξονα του οργάνου εκπέμπεται από τη βάση του οργάνου και χρησιμοποιείται για την επισήμανση του σημείου έχει μέγιστη ισχύ 1 mW και το laser είναι κατηγορίας 2
- Το παραπάνω laser έχει διάμετρο κουκίδας 2.5mm στο 1.5m ύψος οργάνου και $\pm 1.5\text{mm}$ στο 1.5m ύψος οργάνου
- Η ορατή ακτίνα laser που εκπέμπεται από το φακό του τηλεσκοπίου για τη μέτρηση της απόστασης έχει μέγιστη ισχύ 5mW και το laser είναι κατηγορία 3

(ΠΗΓΗ: <http://www.leica-geosystems.com>)



Εικόνα 65: ΟΓΣ Leica TCR 405

ΠΗΓΗ: <http://www.leica-geosystems.com>

Χαρακτηριστικά Scan Station 2 της Leica

ΓΕΝΙΚΑ	
Τύπος οργάνου	Πολύ υψηλής ταχύτητας Ανιχνευτής laser παλμών με διπλό άξονα αντιστάθμισης
Επικοινωνία με το χρήστη	Notebook or Tablet PC
Κίνηση ανιχνευτών(scanner motor)	Κίνηση με σερβομηχανισμό
Κάμερα	Ενσωματωμένη κάμερα υψηλής ανάλυσης
ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	
Θέση	6mm
Απόσταση	4mm
Γωνία	60μrad
Μέτρηση στόχων	2mm απόκλιση
Διπλός άξονας αντιστάθμισης	Μπορεί να επιλεγεί on/ off: Resolution 1", dynamic range $\pm 5'$
LASER SCANNER	
Τύπος Laser	Laser παλμών
Χρώμα Laser	Πράσινο
Τάξη Laser	3R
Εμβέλεια Laser	300 m κατά 90% και 134 m κατά 18%
Μέγεθος σημείων	Από 0 - 50m :4mm (FWHH): 6mm (Gaussian)
Μέγιστη πυκνότητα δειγμάτων	<1mm
ΟΠΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	
Οριζόντια γωνία	360°

Κατακόρυφη γωνία	270°
Οπτική ανίχνευσης	Ενιαίο κάτοπτρο, πανοραμικό, με 2 παράθυρα, ένα μπροστά και το άλλο επάνω, τα οποία προστατεύονται από το περιβάλλον από 2 ασπίδες γυαλιού
Δείκτης για οριζοντίωση	Εξωτερική φυσαλίδα και μέσω του laptop
ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
Εισαγωγή	Cyclone native IMP object database format, Cyclone Object Exchange (COE) format, ASCII point data (XYZ, SVY, PTS, PTX, TXT) Leica X-function DBX, LandXML, ZFS, ZFC, 3DD
Εξαγωγή	ASCII point data (XYZ, SVY, PTS, PTX, TXT) DXF, Leica X-function DBX, LandXML, PTZ

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά Scan Station 2

ΠΗΓΗ: <http://www.leica-geosystems.com>

Φωτογραφική Μηχανή Canon EOS 5D

Αισθητήρας	21,1 εκατομμύρια ενεργά pixels
Μεγέθη Εικόνας	<ul style="list-style-type: none"> • 5616 x 3744 • 4080 x 2720 • 2784 x 1856
Αρχεία Raw	<ul style="list-style-type: none"> • CR2 μορφή, 14-bit • RAW πλήρη ανάλυση • 5616 x 3744 (21,0 MP) • 3861 x 2574 (10,0 MP) • 2784 x 1856 (5,2 MP)
Επεξεργαστής Εικόνας	Επεξεργαστής DIGIC 4
Auto ISO	ISO 100 έως 3200
Οθόνη LCD	<ul style="list-style-type: none"> • 3,0 "οθόνη TFT LCD • 920.000 pixels
Μείωση Θορύβου	Τέσσερα επίπεδα
Auto Lighting Optimizer	<ul style="list-style-type: none"> • 9-TTL σημείο αισθητήρας CMOS • 6 "Invisible Assist AF σημεία" • Κεντρικό σημείο σταυρού τύπου: F5.6 ή ταχύτερος • Κεντρικό Σημείο επιπλέον ευαίσθητο με φακούς F2.8 ή ταχύτερος <p>AF εύρος λειτουργίας: -0,5 έως 18 EV (στους 23 ° C, ISO 100)</p>
Βάρος	Χωρίς μπαταρία: 810 g (1,8 lb)
Ευαισθησία	ISO 100 έως 6.400, με δυνατότητα επέκτασης έως H1 (12.800) και H2 (25.600)

Ισχύς	Μπαταρία: Lithium - Ιον LP-Ε6 επαναφορτιζόμενη • Περίπου. 850 βολές στους 20 ° C
Διάφραγμα	<ul style="list-style-type: none">• F1.0 - F91• 0,3 ή 0,5 EV βήματα• Το πραγματικό εύρος ανοίγματος εξαρτάται από το φακό που χρησιμοποιείται

Πίνακας 6: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Canon EOS 5D για την εφαρμογή Texture Map

ΠΗΓΗ: <http://www.dpreview.com/>



Εικόνα 66: Μηχάνη Canon EOS 5D

ΠΗΓΗ: <http://www.dpreview.com/>

Φακός Canon 24105L



Εικόνα 67: Φακός Canon 24105L

ΠΗΓΗ: <http://www.lemur.info.pl>

Χαρακτηριστικά Φακού Canon 24105L	
Εστιακό μήκος	24-105mm
Μέγιστο διάφραγμα	F4.0
Ελάχιστο διάφραγμα	F22
Οπτική γωνία	Οριζόντια: 74 ° - 19 ° 20 ' Κάθετη: 53 ° - 13 ° Διαγώνιος: 84 ° - 23 ° 20
Ελάχιστη απόσταση εστίασης	45cm
Μέγιστη μεγέθυνση	0.23x(στους 105mm)
Διάμετρος φίλτρου	77 χιλιοστά
Βάρος	670g
Επεκτάσεις	EF 1.4x II: Μη συμβατή EF 2.0x II: Μη συμβατή

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά
Φακού Canon 24105L

ΠΗΓΗ:

<http://www.dpreview.com/>

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ



Εικόνα 68: Ίδρυση στάσεων για την τοποθέτηση σφαιρας



Εικόνα 69: Σάρωση από τη στάση Σ27



Εικόνα 70: Ειδικοί σφαιρικοί στόχοι για τη συνένωση των νεφών



Εικόνα 71: Σάρωση από τη στάση Σ3

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ανάγνου Α., Γεωργία Μ.: «**Επίγειοι Τρισδιάστατοι Σαρωτές και Εφαρμογές τους**», Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι.-Αθήνας., Αθήνα 2012.
2. Αραμπατζή Ο.: «**Όργανα αποτύπωσης επιφανειών με σάρωση (Laser Scanners)**» *Προσωπικές Σημειώσεις*
3. Arabatzi O, V Pagounis, M Tsakiri (2011) Experiences in cultural heritage documentation using modern geodetic techniques- Monuments at the Acropolis of Athens. In: *Proc. FIG Working Week, 18-22 May, Morocco.*
4. Boehler W., Bordas V., Marbs A., Απρίλιος 2004 “**Investigating Laser Scanner Accuracy**”, Germany.
5. Βλάχου Μ. : «**Γεωμετρική Τεκμηρίωση Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών-Τοπογραφική Αποτύπωση-Αποτύπωση Ψηφιδωτού**», Διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2012.
6. Γατοπούλου Ευγενία: «**Αρχαίο Ωδείο Πατρών**», Μελέτη - Πάτρα 1976
7. Γατοπούλου Ευγενία , «**Περίσσειμα καρδιάς-Οδοιπορικό μέσα από τα παλιά κελύφη**», Πρακτικά Τριημερίδας Τουρισμού, Δήμος Πατρέων. Πάτρα 2000.
8. Γεωργόπουλος Α., Μπαλοδήμος Δ. : «**Σύγχρονες Τεχνολογίες στη Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων**» - Παρουσίαση για τα 170 χρόνια του Πολυτεχνείου Ε.Μ.Π. - Δεκέμβριος 2007.
9. Γεωργόπουλος Α., Ιωαννίδης Χ.: «**Γεωμετρική Τεκμηρίωση Πολιτιστικών Αγαθών**», Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας- Σ.Α.Τ.Μ-Ε.Μ.Π. - *Διήμερο Συνέδριο προσωπικού του Τμήματος Αναδασμού, ΚΕΓΕ Αγρού, 17-18/11/2008.*
10. **Ιωαννίδης Χ. (2005) 'Αποτυπώσεις Μνημείων'**. Διάλεξη επίγειων σαρωτών laser στις αποτυπώσεις μνημείων. Αθήνα, Ελλάδα.
11. Κατσιούλη Π. : « **Δημιουργία Γεωμετρικών Τομών από Δεδομένα Επίγειας Σάρωσης** » Διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005

12. Κολώνας Λάζαρος , «Από το Ρωμαϊκό παρελθόν στη νεοκλασική Πάτρα, Ρωμαϊκό Ωδείο», Διεθνές Φεστιβάλ Πάτρας, Πάτρα 1986.
13. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010, «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ», Θεσσαλονίκη: εκδόσεις ΖΗΤΗ.
14. Μακρής Γ. Ν. (1999) «Σύγχρονες αντιλήψεις και πρακτικές γεωμετρικής τεκμηρίωσης - αποτύπωσης κειμηλίων, μνημείων και συνόλων». Αθήνα, Ελλάδα.
15. Μπαλοδήμος Δ. : «Ειδικές Γεωδαιτικές Αποτυπώσεις» Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 1993
16. Μπαλοδήμος Δ. : «Η Συμβολή της Γεωδαισίας και της Φωτογραμμετρίας στην Τεκμηρίωση και διατήρηση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς- Μια πρόταση για την Ήπειρο», 1ο Συνέδριο: Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για το Μέτσοβο, ΜΕΚΔΕ 2001.
17. Μπαμπουρδά Δ.: «Γεωμετρική Τεκμηρίωση της Κρήνης της Καλλιρόης, στον αρχαιολογικό χώρο της Πνύκας», Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2010.
18. Pagounis V, O Arabatzi, M Tsakiri, D Tsini (2010) Geodetic technology for cultural heritage monitoring - the case study of Clepsydra at the Acropolis of Athens, In: *Proc the 8th Intern, Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin MONUBASIN*, May 31 - June 2, Patra, Greece.
19. Παπαγεωργίου Ε. : «Συμβολή των Επίγειων Σαρωτών Laser στη Γεωμετρική Τεκμηρίωση Σωστικών Ανασκαφών», Διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2004
20. Σίσκας Βασίλειος, «Χρήση Επίγειου Σαρωτή για την αποτύπωση Αρχαίου Πύργου στην Αγία Μαρίνα Κέας», Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2012.
21. Συμεωνίδης Π. : « Σαρωτές laser - Τεχνολογία, Τεχνικές και Εφαρμογές», Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας, Τ.Ε.Ι Σερρών, Σέρρες 2007.
22. Τσούχλη Α.-Μπαμπαδήμα Ε. : «Η συμβολή της τρισδιάστατης σάρωσης στην αποτύπωση μνημείων - Εφαρμογή: Μνημείο Κλεψύδρας στη Βόρεια Κλιτύ της Ακρόπολης», Διπλωματική Εργασία, Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Οκτώβριος 2008.

Διαδίκτυο

- www.leica-geosystems.com, Leica Geosystems
- www.metrice.gr, Εταιρεία Metrice
- www.astrolabe.gr, Εταιρεία Astrolabe
- www.geomatics.gr
- <http://geo.teiser.gr>, Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας
- <http://www.diazoma.gr>, Σωματείο Διάζωμα
- <http://e-topo.web.auth.gr>, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
- <http://www.e-patras.gr>
- <http://eneaportal.unile.it>, Ρωμαϊκό Ωδείο Πάτρας

