



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ

Ειρήνη Μανταλέν Μαντζώρου | Α.Μ. 2005010037

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1 Η ΜΝΗΜΕΙΑΚΗ ΕΛΙΑ ΒΟΥΒΩΝ	4
1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ	6
1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΜΝΗΜΕΙΑΚΩΝ ΕΛΑΙΟΔΕΝΤΡΩΝ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ	9
2.1 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ.....	9
2.2 ΧΡΗΣΗ LIDAR ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ ..	13
3.1 ΣΥΛΛΗΨΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	14
3.2 ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	18
3.3 ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΜΗΜΑΤΙΚΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ.....	23
3.4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΕ ΠΟΛΥΓΩΝΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ.....	44
3.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΟΛΥΓΩΝΙΚΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.....	47
Α. ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΠΟΛΥΓΩΝΙΚΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.....	47
Β. ΚΑΛΥΨΗ ΚΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ.....	51
Γ. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ.....	64
3.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΦΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ	73
4.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ANIMATION	74
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ	76
4.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	85
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	87
ΠΗΓΕΣ.....	90

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου εικονικού μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της αντίστροφης σχεδίασης. Η χρήση τεχνικών τρισδιάστατης αναπαράστασης γίνεται όλο και πιο δημοφιλής λόγω της δυνατότητας τους για πιο ρεαλιστική απεικόνιση σε σχέση με τα συμβατικά μέσα. Σκοπός της προσπάθειας αυτής είναι αφενός να ψηφιοποιηθεί ένα σημαντικό κομμάτι της φυσικής μας κληρονομιάς και αφετέρου να γίνει μια εισαγωγή στη μεθοδολογία ψηφιοποίησης στοιχείων τέτοιου τύπου.

Αρχικά γίνεται μια αναφορά στη Μνημειακή Ελιά Βουβών και στο Μουσείο Ελιάς, το οποίο είναι στεγασμένο δίπλα της. Πραγματοποιείται μια περιγραφή της ελιάς, της περιοχής στην οποία βρίσκεται και της ιστορίας της. Με αφορμή την προσπάθεια προσδιορισμού των μεγεθών της ελιάς με τη βοήθεια της ψηφιοποίησης, καθορίζονται τα χαρακτηριστικά σύμφωνα με τα οποία αξιολογούνται μεμονωμένα δέντρα καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά για τα οποία αποδίδεται ο όρος «μνημειακό» σε φυσικά στοιχεία και κυρίως σε ελαιόδεντρα.

Προκειμένου να γίνει πληρέστερα κατανοητό το θέμα της εργασίας, ορίζεται η έννοια και η χρήση της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης, η τεχνολογία και τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της και οι τομείς στους οποίους εφαρμόζεται. Για την αποτύπωση φυσικών αντικειμένων σε τρισδιάστατη μορφή χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα, οι τρισδιάστατοι σαρωτές, οι οποίοι βασίζονται σε διάφορες τεχνολογίες, μία από τις οποίες είναι και η τεχνολογία LIDAR, η οποία χρησιμοποιήθηκε και στη συγκεκριμένη περίπτωση. Η τεχνολογία αυτή, όμως, δεν περιορίζεται στη σάρωση μεμονωμένων αντικειμένων, αλλά έχει διάφορες εφαρμογές ακόμα και σε εργασίες μεγάλης έκτασης.

Η εφαρμογή της ψηφιοποίησης στη Μνημειακή Ελιά Βουβών παρουσιάζεται αναλυτικά στο τρίτο κεφάλαιο, όπου κάθε βήμα της διαδικασίας εξηγείται και παράλληλα παρατίθενται οι αντίστοιχες εικόνες. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει την λήψη πολλαπλών τμηματικών σαρώσεων και τη μετέπειτα ενοποίηση τους με τη χρήση του λογισμικού Geomagic Studio 10. Τα πλεονεκτήματα της δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου και οι εφαρμογές που προκύπτουν παρουσιάζονται στο τέταρτο κεφάλαιο, ενώ τέλος αναφέρονται τα συμπεράσματα από την εφαρμογή της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης στην απεικόνιση της Μνημειακής Ελιάς Βουβών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Χάρη στην συνεχή έρευνα και στα ισχυρά νέα εργαλεία τρισδιάστατης αναπαράστασης αντικειμένων που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, βιώνουμε μια νέα μορφή καταγραφής και αρχειοθέτησης της πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς, της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Η χρήση τεχνικών τρισδιάστατης αναπαράστασης γίνεται όλο και πιο δημοφιλής λόγω της δυνατότητας τους για πιο ρεαλιστική απεικόνιση σε σχέση με τα συμβατικά μέσα.

Η δημιουργία ενός εικονικού τρισδιάστατου μοντέλου της ελιάς αυτής πληροί διάφορους σκοπούς. Αρχικά διευκολύνεται η καταγραφή των χαρακτηριστικών μεγεθών του κορμού, καθώς και η επιστημονική μελέτη και ανάλυση του δέντρου.

Ένα άλλο αποτέλεσμα ήταν ότι ένα σημαντικό κομμάτι της πολιτιστικής κληρονομιάς ψηφιοποιήθηκε, υποστηρίζοντας έτσι την προσπάθεια του Μουσείου Ελιάς Βουβών προβολής και διάδοσης της κληρονομιάς αυτής.



Σχήμα 1.1: Η Μνημειακή Ελιά Βουβών

1.1 Η ΜΝΗΜΕΙΑΚΗ ΕΛΙΑ ΒΟΥΒΩΝ

Η Μνημειακή Ελιά Βουβών, γνωστή και ως η αρχαιότερη ελιά στον κόσμο, βρίσκεται στο χωριό Άνω Βούβες, 30 χιλιόμετρα περίπου δυτικά της πόλης των Χανίων. Με την απόφαση 603/17-2-1997 του Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Κρήτης έχει ανακηρυχτεί ως «διατηρητέο μνημείο της φύσης, λόγω του ιδιαίτερου αισθητικού, οικολογικού και ιστορικού ενδιαφέροντός του». Κλαδιά της Ελιάς αυτής χρησιμοποιήθηκαν για τη στέψη των νικητών των Ολυμπιακών Αγώνων του Πεκίνου και της Αθήνας καθώς και των νικητών του Κλασικού Μαραθωνίου στο Καλλιμάρμαρο Στάδιο.

Σύμφωνα με την ιστοσελίδα Mother Nature Network, η Ελιά Βουβών είναι τουλάχιστον 3000 ετών. Η ακριβής ηλικία της ελιάς είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί καθώς η μέθοδος των ραδιοϊσοτόπων είναι αδύνατο να εφαρμοστεί στη συγκεκριμένη περίπτωση. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στον υπολογισμό της ποσότητας Άνθρακα-14 που έχει απομείνει μέσα σε ένα οργανικό υλικό ύστερα από μείωση του με γνωστό ρυθμό και στη σύγκριση με τη γνωστή αναλογία Άνθρακα-14 που θα υπήρχε εάν είχε δημιουργηθεί το υλικό σήμερα. Λόγω όμως της ηλικίας και της ιδιαιτερότητας της μορφής της Ελιάς Βουβών δεν έχει απομείνει υλικό από τον αρχικό πυρήνα (καρδιόξυλο) του δέντρου. Για τον λόγο αυτό έχει γίνει μία λιγότερο ακριβής προσέγγιση της ηλικίας μέσω της μεθόδου των ετήσιων δακτυλίων, που εκτιμά την ετήσια ακτινική αύξηση του δέντρου στα 0,6 mm. Το στοιχείο αυτό σε συνδυασμό με τη μέγιστη διάμετρο του κορμού τοποθετεί την ηλικία στα 3000 έτη.



Σχήμα 1.2: Εσωτερικά της Μνημειακής Ελιάς Βουβών

Η Ελιά Βουβών είναι αγριελιά η οποία μπολιάστηκε με την τοπική ποικιλία τσουνάτη. Πλέον το μπολιασμένο μέρος έχει περάσει τα 2.5 μέτρα ύψος πάνω από το έδαφος. Η διάταξη των αγγείων της Ελιάς δεν είναι σε ευθεία αλλά η μορφή είναι ελικοειδής, που είναι

χαρακτηριστικό γνώρισμα της αγριελιάς. Το δέντρο δίνει ακόμα καρπούς, από τους οποίους παράγεται και λάδι.

Στη περιοχή Άνω Βούβες, σε μικρή απόσταση από την ελιά, υπάρχουν δύο νεκροταφεία Γεωμετρικής περιόδου 700 π.Χ. με πλούσιο αρχαιολογικό υλικό. Τα ευρήματα αυτά είναι πιθανό να συνδέονται με την ύπαρξη της ελιάς στο συγκεκριμένο μέρος. Ακόμα, στην περιοχή του Δήμου, εκτός από την Μνημειακή Ελιά Βουβών, βρίσκονται ακόμη τουλάχιστον άλλα δέκα μνημειακά ελαιόδεντρα.

Δίπλα στη Μνημειακή Ελιά Βουβών, την οποία επισκέπτονται περίπου 20.000 άτομα τον χρόνο, βρίσκεται το Μουσείο Ελιάς Βουβών. Το μουσείο είναι στεγασμένο σε ένα παραδοσιακό κτίσμα και περιλαμβάνει εκθέματα σχετικά με την καλλιέργεια και επεξεργασία της ελιάς. Σκοπό έχει την διάσωση και ανάδειξη κομματιών της καθημερινής ζωής των κατοίκων της περιοχής καθώς και την σχέση τους με την καλλιέργεια και την επεξεργασία των καρπών της ελιάς.



Σχήμα 1.3: Το Μουσείο Ελιάς Βουβών

1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ

Δενδρομετρία (Dendrometry) είναι ένας κλάδος της βοτανολογίας που ασχολείται με την μέτρηση των διάφορων χαρακτηριστικών μεγεθών των δέντρων. Τέτοια μεγέθη είναι, για παράδειγμα, η ηλικία, το ύψος, ο όγκος, η διάμετρος του δέντρου στο ύψος του στήθους, που αποκαλείται εν συντομία DBH (Diameter at Breast Height), και γενικά η μέτρηση και καταγραφή χαρακτηριστικών του κορμού και του φυλλώματος.

Το μέγεθος DBH, που στην Ευρώπη, την Αυστραλία και των Καναδά ορίζεται η διάμετρος του κορμού του δέντρου σε ύψος 1.30 m, χρησιμοποιείται στον έμμεσο υπολογισμό άλλων βασικών μεγεθών ενός δέντρου. Ο υπολογισμός του DBH γίνεται με συμβατικές μεθόδους, όπως είναι η χρήση ταινιών μέτρησης ή παχύμετρα, ανάλογα με το μέγεθος του κορμού. Υπάρχει μέθοδος προσεγγιστικού υπολογισμού του ύψους ενός δέντρου με βάση το DBH καθώς και του όγκου του. Φυσικά, σημαντική παράμετρος των μεθοδολογιών αυτών είναι το είδος του δέντρου. Η ηλικία των δέντρων, που γενικά υπολογίζεται είτε με τη μέτρηση των ετήσιων δακτυλίων του κορμού είτε με τη χρήση ραδιοϊσοτόπων, μπορεί επίσης να προσεγγιστεί με τη βοήθεια του DBH. Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η αύξηση του μεγέθους της διαμέτρου ενός δέντρου είναι το μόνο σταθερό και μη αναστρέψιμο στοιχείο του.

Οι παραπάνω μεθοδολογίες είναι αρκετά συμβατικές και πολλές φορές τα αποτελέσματα είναι ανακριβή. Υπάρχουν τρόποι που μπορούν να πραγματοποιήσουν την ίδια εργασία σε λιγότερο χρόνο και με μεγαλύτερη ευκολία και ακρίβεια. Επίσης, ενώ οι παραπάνω μεθοδολογίες ίσως μπορούν να εφαρμοστούν ικανοποιητικά σε μεμονωμένες περιπτώσεις, δεν είναι τόσο εύχρηστες όταν οι μετρήσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν σε ολόκληρη έκταση με δέντρα.

Για τις περιπτώσεις που δεν μπορούν να εφαρμοστούν οι συμβατικές μέθοδοι, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά εργαλεία, όπως το σύστημα LIDAR (Light detection and ranging). Με την εμφάνιση των εργαλείων αυτών απλοποιήθηκαν σημαντικά οι άμεσες μετρήσεις των χαρακτηριστικών της δομής των δέντρων, όπως είναι το ύψος τους, το DBH, ο χώρος που καταλαμβάνει το φύλλωμα, ο όγκος του κορμού κ.α.



Σχήμα 1.4: Μέτρηση του DBH με χρήση παχύμετρου

1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΜΝΗΜΕΙΑΚΩΝ ΕΛΑΙΟΔΕΝΤΡΩΝ

Ως φυσικό μνημείο ορίζεται ένα φυσικό ή φυσικό και πολιτιστικό στοιχείο εξαιρετικής αξίας, λόγω της σπανιότητας του, της σπουδαίας αισθητικής αξίας του ή της πολιτιστικής σημασίας του.

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, ένα «υποψήφιο» μνημείο της φύσης πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά: η περιοχή στην οποία βρίσκεται θα πρέπει να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά στοιχεία εξαιρετικής σημασίας. Τέτοια στοιχεία μπορεί να είναι θαυματικοί καταρράκτες, σπηλιές, κρατήρες, αμμόλοφοι, υποθαλάσσιες περιοχές, σε συνδυασμό με κάποιο μοναδικό αντιπρόσωπο χλωρίδας ή πανίδας καθώς επίσης να συνδέονται με κάποιο πολιτιστικό χαρακτηριστικό όπως σπηλιές που είχαν κατοικηθεί στο παρελθόν, φρούρια, αρχαιολογικοί χώροι, ή φυσικοί χώροι μέρη πολιτιστικής κληρονομιάς αυτοχθόνων πληθυσμών. Η περιοχή θα πρέπει, επίσης, να είναι αρκετά μεγάλη έτσι ώστε να μπορεί να προστατευθεί η ακεραιότητα του μνημειακού στοιχείου και της περιβάλλουσας περιοχής.



Σχήμα 1.5: Μνημειακή Ελιά
Π.Ρουμάτων

Τα δέντρα-μνημεία της φύσης είναι σημαντικά δείγματα της φυσικής και πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Έχουν επιζήσει σε εξαιρετικά δύσκολες περιόδους, αντέχοντας δοκιμασίες καιρικών συνθηκών, διάβρωση από το πέρασμα του χρόνου καθώς και πιθανές πυρκαγιές ή άλλες αλόγιστες ανθρώπινες ενέργειες. Μάρτυρες μακρινών ιστορικών γεγονότων, πολλές φορές συνδέονται στενά με παραδόσεις των περιοχών στις οποίες βρίσκονται, με μύθους και θρύλους.

Τα μνημειακά ελαιόδεντρα μπορούν να καταταχθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα ειδικά χαρακτηριστικά που τους προσδίδουν τον μνημειακό τους χαρακτήρα. Τέτοια χαρακτηριστικά μπορούν να είναι μορφολογικά, πολιτιστικά, χρονολογικά κ.λπ.

Στα μορφολογικά συμπεριλαμβάνεται το ανάγλυφο του κορμού, το μέγεθος και το σχήμα της εσωτερικής κοιλότητας, το μέγεθος του κορμού (διάμετρος, περίμετρος), το μέγεθος της κόμης (διάμετρος, ύψος) κ.ά.

Στα πολιτιστικά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνονται εκείνα τα οποία συνδέουν την παρουσία του δέντρου με τη μυθολογία, την ιστορία, την παράδοση, τη θρησκεία και γενικά τον πολιτισμό του τόπου.



Σχήμα 1.6: Μνημειακή Ελιά Βουβών (αριστερά) Μνημειακή Ελιά Πανασού (δεξιά)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ

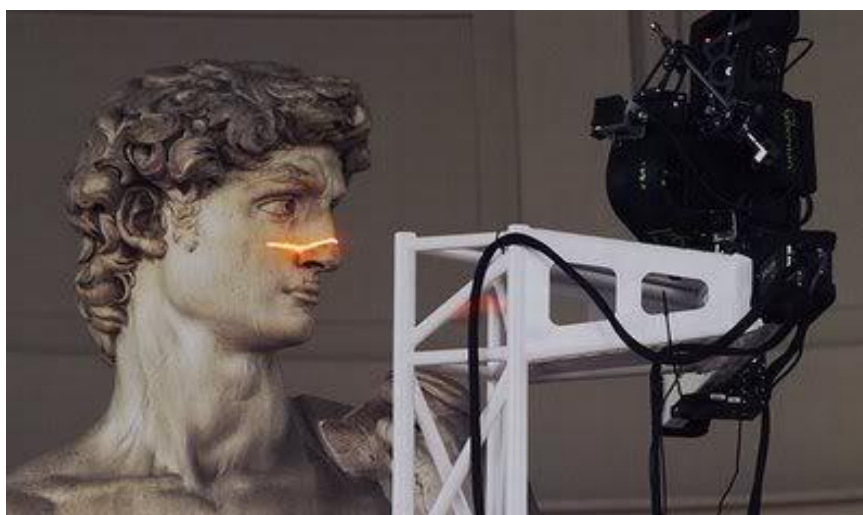
2.1 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ

Ως τρισδιάστατη σάρωση ή ψηφιοποίηση χαρακτηρίζεται η διαδικασία της τρισδιάστατης αποτύπωσης φυσικών αντικειμένων για την εξαγωγή των απαιτούμενων δεδομένων με τη χρήση προηγμένων τεχνολογικά συστημάτων.

Για την εφαρμογή της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες. Οι τεχνολογίες αυτές μπορεί να είναι μηχανικές και να απαιτούν αρκετό χρόνο για να πραγματοποιηθούν ή να είναι αυτοματοποιημένες και να βασίζονται στην εκπομπή ακτίνων λέιζερ, που επιτρέπει τη γρήγορη λήψη δεδομένων.

Πολύ σημαντικός λόγος για την προτίμηση συστημάτων τρισδιάστατης αποτύπωσης είναι η δυνατότητα αποτύπωσης των αντικειμένων με μεγαλύτερη ακρίβεια και λεπτομέρεια από οποιαδήποτε άλλη παραδοσιακή διαδικασία, π.χ. φωτογράφιση.

Επομένως είναι λογικό να χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο σε εφαρμογές διατήρησης πολιτιστικής κληρονομιάς, στη βιομηχανία, στη διαχείριση γης και στην ιατρική. Στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς, τα τρισδιάστατα μοντέλα αποτελούν ένα ενδιαφέρον εργαλείο για αρχειοθέτηση και αναπαράσταση των αντικειμένων με την πραγματική τους μορφή, καθώς και για διαδραστικές εφαρμογές απεικόνισης.



Σχήμα 2.1: Τρισδιάστατη σάρωση του «Δαβίδ» του Μιχαήλ Αγγελου

Γενικά, ως τρισδιάστατος σαρωτής θα μπορούσε να οριστεί οποιαδήποτε συσκευή δύναται να συλλέξει τρισδιάστατες συντεταγμένες από μία δεδομένη περιοχή πάνω στην

επιφάνεια ενός αντικειμένου. Ακόμα χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα στοιχεία όπως είναι να ακολουθεί μία αυτοματοποιημένη διαδικασία η οποία στηρίζεται σε κάποιο πρότυπο, να πραγματοποιεί δειγματοληψία υψηλού ρυθμού, που σημαίνει εκατοντάδες ή χιλιάδες σημεία ανά δευτερόλεπτο, να επιταχύνει τη διαδικασία ώστε να πραγματοποιείται σε πραγματικό (σχεδόν) χρόνο και να υπάρχει δυνατότητα σε ορισμένες περιπτώσεις διάκρισης χρωματικής πληροφορίας της επιφάνειας που σαρώνεται σε συνδυασμό με την τρισδιάστατη γεωμετρία της.

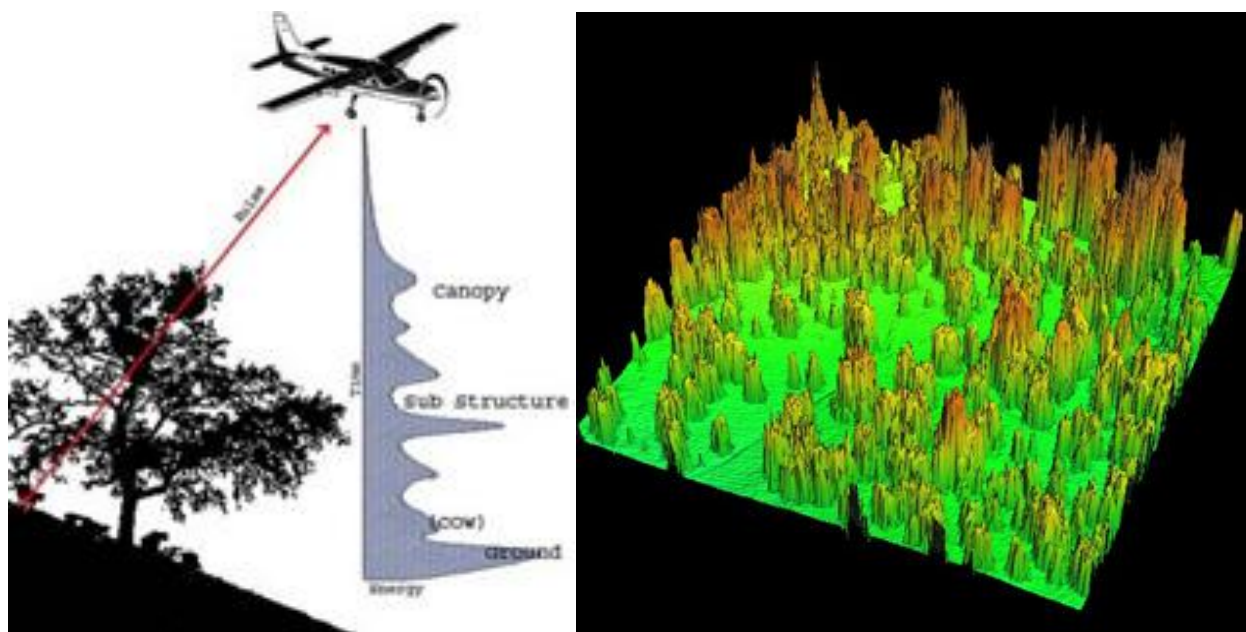
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι χρήσης ενός σαρωτή, οι πιο δημοφιλείς από αυτούς είναι να βρίσκεται είτε σταθερός σε κάποια συγκεκριμένη θέση, είτε πάνω σε κάποιον κλασικό, φωτογραφικού τύπου τρίποδα, ή να χρησιμοποιηθεί εν πτήση όταν πρόκειται για τοπογραφικές εφαρμογές.

Η τρισδιάστατη σάρωση είναι βασικό εργαλείο της αντίστροφης σχεδίασης ή αντίστροφης μηχανικής. Αντίστροφη σχεδίαση είναι η διαδικασία ανακάλυψης των τεχνολογικών αρχών που διέπουν ένα αντικείμενο, μία συσκευή ή ένα σύστημα μέσω της ανάλυσης της δομής του και της κατανόησης της λειτουργίας του και στη συνέχεια η επανασχεδίαση του. Η αντίστροφη μηχανική απαιτεί ακριβές ψηφιακό μοντέλο του αντικειμένου που πρόκειται να αναπαραχθεί, κάτι το οποίο μπορεί να προσφερθεί με έναν τρισδιάστατο σαρωτή.

2.2 ΧΡΗΣΗ LIDAR ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ

Η τεχνολογία LIDAR μπορεί να υπολογίσει με ακρίβεια την απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και του στόχου του, βάσει του χρόνου που έχει παρέλθει μεταξύ εκπομπής και επιστροφής των παλμών λέιζερ. Υπάρχουν δύο ειδών συστήματα LIDAR, το εναέριο και το επίγειο σύστημα.

Το εναέριο σύστημα LIDAR αναπτύχθηκε αρχικά για βαθυμετρικές εργασίες και τοπογραφικές εργασίες. Από τα μέσα της δεκαετίας του '80 και ύστερα άρχισε να χρησιμοποιείται στη δασομετρία. Μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του '90 όμως, το σύστημα αυτό δεν είχε δυνατότητα σάρωσης και αποθήκευσης πληροφοριών και ο χώρος εφαρμογής των μετρήσεων περιοριζόταν σε μία στενή λωρίδα ακριβώς κάτω από το αεροσκάφος. Με την διεύρυνση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας LIDAR ακολούθησε και η εξάπλωση της και σε άλλους τομείς.



Σχήμα 2.2: Εναέριο σύστημα LIDAR (αριστερά) Δεδομένα σάρωσης με εναέριο σύστημα LIDAR (δεξιά)

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιείται καθώς το αεροσκάφος κινείται προς τα εμπρός. Το κάτοπτρο του σαρωτή στέλνει και δέχεται παλμούς σε μία λωρίδα του εδάφους. Ως εκ τούτου τα δεδομένα που λαμβάνονται έχουν προιονωτή διάταξη. Η πλειοψηφία των συστημάτων αυτών που κυκλοφορούν στο εμπόριο μπορούν να συλλέξουν από 20.000 έως 75.000 εγγραφές ανά δευτερόλεπτο.

Η πυκνότητα των σημείων των τελικών αποτελεσμάτων εξαρτάται από τον αριθμό των παλμών που αποστέλλονται ανά μονάδα χρόνου, από τη γωνία λειτουργίας του μέσου σάρωσης, από το ύψος στο οποίο πετάει το αεροσκάφος καθώς και την ταχύτητα του. Γενικά τα συστήματα LIDAR μπορούν να πετύχουν μεγάλη ακρίβεια σε οριζόντια και κάθετη κατεύθυνση.

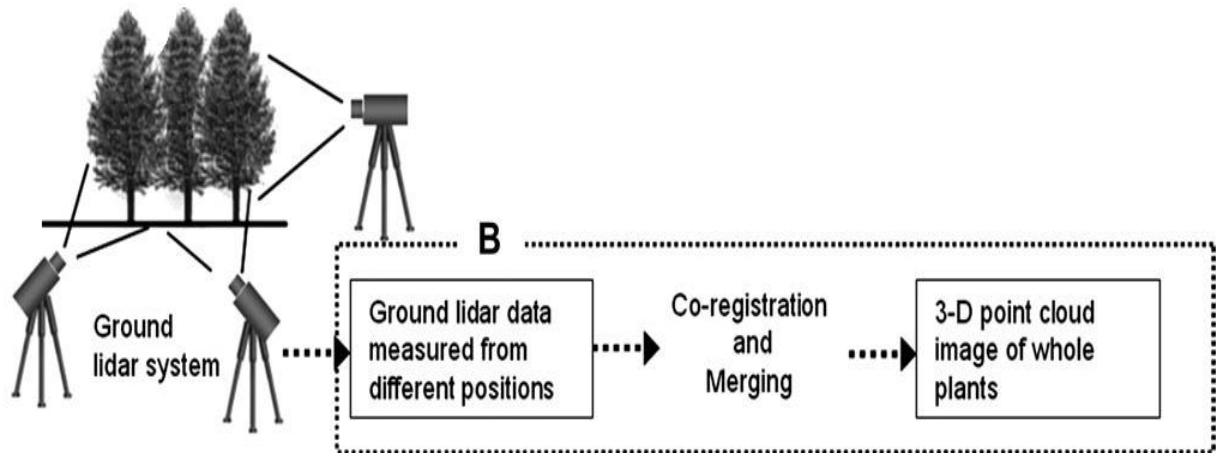
Τα εναέρια συστήματα LIDAR χωρίζονται σε μικρής και μεγάλης εμβέλειας. Στα συστήματα μικρής εμβέλειας το πάχος της λωρίδας που καλύπτει η ακτίνα λέιζερ είναι 10-30 cm, ενώ στα μεγάλης εμβέλειας το πάχος μπορεί να είναι από 10 έως και 25 m. Τα συστήματα μεγάλης εμβέλειας λαμβάνουν τα δεδομένα από μεγαλύτερο ύψος και έχουν ακρίβεια 10 cm, σε σχέση με αυτά της μικρής εμβέλειας που ορίζεται στα 15 cm.

Το επίγειο σύστημα LIDAR χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, με και χωρίς σαρωτή.

Στην περίπτωση χωρίς σαρωτή υπάρχει μία πηγή λέιζερ, ένας ανιχνευτής για τη μέτρηση αποστάσεων καθώς και μία πυξίδα και ένας αισθητήρας κλίσης για τον υπολογισμό των γωνιών. Με τις μετρήσεις που δέχεται ο υπολογισμός της θέσης γίνεται με ορθογώνιες συντεταγμένες και η ακρίβεια είναι 10 cm. Τα επίγεια συστήματα λέιζερ είναι φορητά, επομένως εκτός από εφαρμογές δασικής βιομετρίας μπορεί να

χρησιμοποιηθεί και για τη μέτρηση των κάθετων προφίλ των φυλλωμάτων, που με το εναέριο σύστημα δεν ήταν πάντα εφικτό.

Με τη χρήση επίγειων συστημάτων LIDAR με σάρωση μπορεί να γίνει καταγραφή ολόκληρου του δέντρου με τη μορφή νέφους σημείων (point cloud) μέσω της ενοποίησης των δεδομένων που λήφθηκαν από διάφορες γωνίες. Αν και η ακρίβεια είναι 1 cm δεν είναι αρκετή για να καταγραφεί το φύλλωμα και το σχήμα των φύλλων με ακρίβεια.

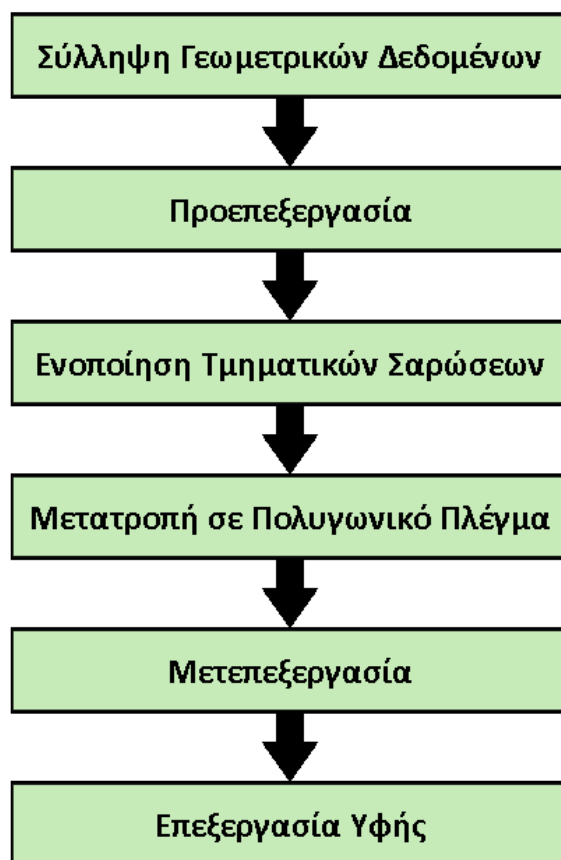


Σχήμα 2.3: Επίγειο σύστημα LIDAR με σαρωτή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ

Ως ψηφιοποίηση ενός μνημείου ορίζεται η ακριβής αποτύπωση και καταγραφή των γεωμετρικών του χαρακτηριστικών, με σκοπό την αξιόπιστη αναπαράσταση της γεωμετρικής μορφής και θέσης του στο χώρο με χρήση διαγραμμάτων, δισδιάστατων απεικονίσεων καθώς και τρισδιάστατων εικονικών μοντέλων. Αντίθετα απ'την απλή φωτογραφική απεικόνιση, η ψηφιοποίηση ενός αντικειμένου παρέχει, εκτός απ'την γεωμετρική ακρίβεια, πληροφορίες για την κλίμακα και τις διαστάσεις του. Επιπλέον, ένα τρισδιάστατο εικονικό μοντέλο είναι καταλληλότερο για επιστημονική μελέτη.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της ψηφιοποίησης θα πρέπει να πραγματοποιηθούν συγκεκριμένα βήματα τα οποία και παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.1: Τα βήματα της διαδικασίας ψηφιοποίησης

Η παραπάνω ακολουθία είναι αρκετά θεωρητική. Στην πραγματικότητα αυτές οι φάσεις ορισμένες φορές διασταυρώνονται αντί να εκτελούνται διαδοχικά ή μπορεί να απαιτούνται κάποιες επαναλήψεις βημάτων για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

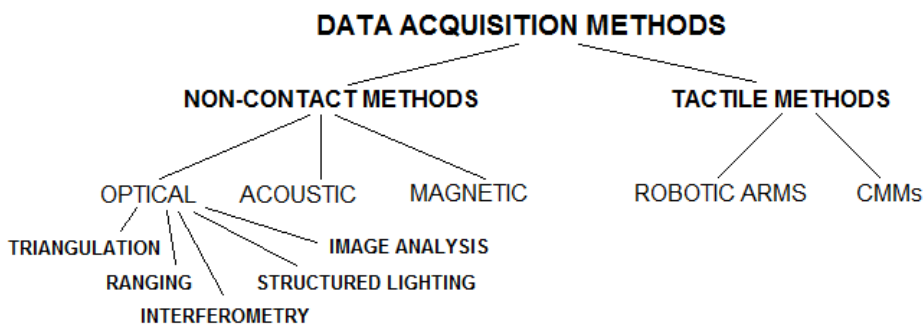
Παρακάτω θα περιγραφεί το καθένα από αυτά τα βήματα αναλυτικά και θα παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόστηκαν στη συγκεκριμένη περίπτωση ψηφιοποίησης.

3.1 ΣΥΛΛΗΨΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει τη σύλληψη των γεωμετρικών δεδομένων του αντικειμένου που μας ενδιαφέρει με κάποιον σαρωτή. Η επιλογή της μεθόδου σάρωσης καθώς και του σαρωτή εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους οι οποίες αναφέρονται είτε στις τεχνικές του προδιαγραφές (ταχύτητα αποτύπωσης, φορητότητα, εμβέλεια και πεδίο σάρωσης κ.α.), είτε στο αντικείμενο της σάρωσης (απόσταση και μέγεθος αντικειμένου, πολυπλοκότητα, εάν βρίσκεται σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο κ.α.).

Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές μέθοδοι για την σύλληψη των γεωμετρικών δεδομένων, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1. Οποιαδήποτε και αν είναι όμως η μέθοδος σάρωσης που θα εφαρμοσθεί, η διαδικασία καταλήγει σε μια σειρά από τμηματικές σαρώσεις. Τα δεδομένα της κάθε σάρωσης προέρχονται από μια περιορισμένη περιοχή της επιφάνειας του αντικειμένου, επομένως για να υπολογιστούν πλήρως οι διαστάσεις και η μορφή της επιφάνειας, απαιτούνται πολλαπλές σαρώσεις από διαφορετικές γωνίες.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση ανήκει σε αυτές που πραγματοποιούνται χωρίς επαφή (Non-Contact Methods). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η Οπτική Μέθοδος (Optical), η οποία είναι πιθανώς η πιο δημοφιλής και ευρύτερα διαδεδομένη μέθοδος για την γρήγορη απόκτηση δεδομένων.



Σχήμα 3.2: Ταξινόμηση Μεθόδων Σύλληψης Γεωμετρικών δεδομένων

Το πρώτο βήμα, λοιπόν, είναι η σύλληψη των γεωμετρικών δεδομένων του αντικειμένου που μας ενδιαφέρει με κάποιοι σαρωτή. Λόγω του περίπλοκου σχήματος της Μνημειακής Ελιάς και της κοιλότητας που σχηματίζεται, δημιουργείται μια εξωτερική και μια εσωτερική επιφάνεια. Για τη σάρωση κάθε μιας από αυτές τις επιφάνειες χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά μηχανήματα: ένα πλήρες σύστημα επίγειου σαρωτή λείζερ **ILRIS 3D** για τις εξωτερικές σαρώσεις και μία **Minolta Vivid 910** για τις εσωτερικές.



Σχήμα 3.3: ILRIS 3D



Σχήμα 3.4: MINOLTA VIVID 910 /VI-910

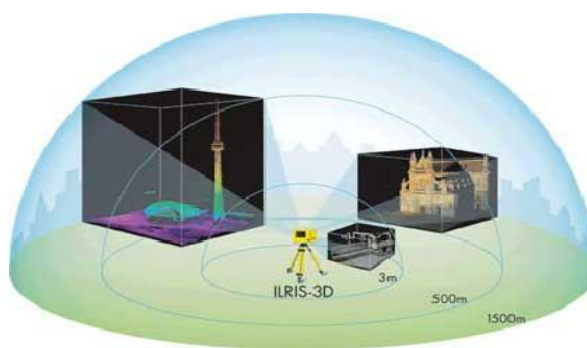
Ο **ILRIS 3D** είναι ένας φορητός σαρωτής κατασκευασμένος ειδικά για εφαρμογές τοπογραφικών αποτυπώσεων μεγάλης κλίμακας, αποτυπώσεων μεταλλείων, σιράγγων, ορυχείων, αρχαιολογικών μνημείων, αποτυπώσεων και παρακολούθησης μεγάλων τεχνικών έργων (δρόμων, γεφυρών, φραγμάτων κλπ), βιομηχανικών και άλλων εφαρμογών.

Έχει δυναμική εμβέλεια σάρωσης από 3 μέτρα έως και 1500 μέτρα ενώ η αποσπώμενη ρομποτική βάση καθιστά το πεδίο σάρωσης 40°x40°.

Κατά της διάρκεια της σάρωσης λαμβάνεται και μια ψηφιακή φωτογραφία, η οποία διευκολύνει την διαδικασία της ενοποίησης των τμηματικών σαρώσεων που πραγματοποιείται σε επόμενο βήμα.

Η φωτογραφία αυτή καθώς και το αρχείο που εξάγεται με τα δεδομένα της σάρωσης αποθηκεύονται στον υπολογιστή. Ο τύπος του αρχείου (DXF, IGES κλπ) πρέπει, στη συνέχεια, να μετατραπεί σε μορφή η οποία να διαβάζεται από το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των δεδομένων.

Ο σαρωτής **Minolta Vivid 910** είναι ένας τρισδιάστατος non-contact σαρωτής (δεν απαιτεί επαφή, λειτουργεί από απόσταση), ο οποίος αποτυπώνει την τρισδιάστατη γεωμετρία του αντικειμένου που μας ενδιαφέρει.



Σχήμα 3.5: Εμβέλεια και πεδίο σάρωσης ILRIS 3D

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην οπτική τριγωνοποίηση, μέσω της οποίας τα αποτυπωμένα διακεκριμένα σημεία του τρισδιάστατου χώρου (νέφος σημείων) συνδέονται μεταξύ τους σε ένα τριγωνοποιημένο δικτυωτό πλέγμα.

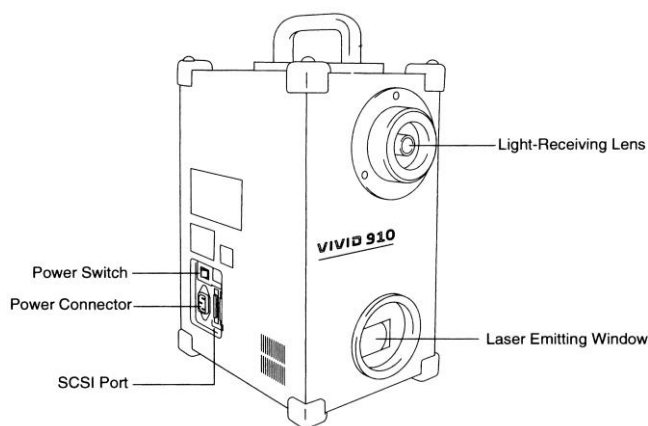
Προκειμένου να δημιουργηθεί αυτό το νέφος σημείων, το αντικείμενο σαρώνεται από μια οριζόντια δέσμη laser φωτός, η οποία εκπέμπεται από το διάφραγμα ενός κυλινδρικού φακού στο κάτω μέρος του σαρωτή. Το φως που αντανακλάται από την επιφάνεια του αντικειμένου ανιχνεύεται από τον φακό του σαρωτή και μεταβιβάζεται σε μια CCD camera, μέσω της οποίας μετατρέπεται σε πληροφορία απόστασης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τη δέσμη φωτός να σαρώνει κάθετα την επιφάνεια του αντικειμένου από την κορυφή προς τη βάση μέσω ενός καθρέφτη.

Κατά το χρονικό διάστημα που η ακτίνα φωτός δεν εκπέμπεται, τα δεδομένα του CCD συστήματος διέρχονται από ένα RGB φίλτρο, οπότε, παρόμοια με τον ILRIS 3D, λαμβάνουμε και μια έγχρωμη εικόνα του αντικειμένου (bitmap image).

Ο σαρωτής Minolta συνδέεται μέσω ενός SCSI καλωδίου με τον υπολογιστή και με αυτόν τον τρόπο μεταφέρονται τα δεδομένα της σάρωσης.

Στην περίπτωση σάρωσης της Μνημειακής Ελιάς Βουβών, η επιλογή των οπτικών γωνιών δεν έγινε αυτόματα αλλά χειροκίνητα. Λόγω του μεγέθους και της πολυπλοκότητας του σχήματος του δέντρου πραγματοποιήθηκαν αρκετές σαρώσεις. Συνολικά έγιναν 35 εξωτερικές σαρώσεις και 145 εσωτερικές.

Κατά τη διάρκεια των εξωτερικών σαρώσεων, ο σαρωτής ILRIS 3D βρισκόταν κατά μέσο όρο σε απόσταση 6,3 μέτρα από την Μνημειακή Ελιά. Αντίθετα, στην περίπτωση των εσωτερικών σαρώσεων η απόσταση από τον στόχο ήταν σημαντικά μικρότερη, κυρίως διότι ο σαρωτής έπρεπε να τοποθετηθεί στο εσωτερικό της Ελιάς, επομένως ο χώρος ήταν πολύ περιορισμένος.



Σχήμα 3.6: Τα κύρια τμήματα της Minolta Vivid 910



Σχήμα 3.7: Σάρωση Μνημειακής Ελιάς Βουβών

Υπάρχουν πολλά πρακτικά προβλήματα που μπορούν να προκύψουν και να δυσκολέψουν τη σύλληψη των πληροφοριών μέσω σάρωσης. Κάποια απ'τα πιο συνηθισμένα σχετίζονται με τις ρυθμίσεις των μηχανημάτων και την ακρίβεια τους, την προσβασιμότητα, η οποία αναφέρεται στη δυσκολία απόκτησης δεδομένων εξαιτίας της πολυπλοκότητας της μορφής του αντικειμένου προς σάρωση ή της τοπολογίας, την παρεμπόδιση της σάρωσης λόγω του φωτός ή κάποιου οπτικού εμποδίου. Τα παραπάνω οδηγούν στην αποτύπωση θορύβου στις σαρώσεις ή σε ελλιπή δεδομένα.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση σάρωσης, παρούσες ήταν οι δύο τελευταίες ομάδες προβλημάτων.

Όσον αφορά την προσβασιμότητα, πρόκληση αποτέλεσε η ιδιαίτερη γεωμετρία του κορμού. Κατά τη διάρκεια της σάρωσης της κοιλότητας που σχηματίζεται στο εσωτερικό του κορμού της Ελιάς, έπρεπε ο σαρωτής καθώς και ο χειριστής να βρίσκονται στο εσωτερικό του δέντρου. Λόγω περιορισμένου χώρου καθώς και περίπλοκης επιφάνειας δεν ήταν πάντα δυνατό να ληφθούν ολοκληρωμένες οι πληροφορίες. Για παράδειγμα, δεν ήταν δυνατή η σύλληψη του εσωτερικού της Ελιάς στο ύψος του εδάφους.

Στην κατηγορία προβλημάτων που οφείλονται στον φωτισμό ή σε οπτικά εμπόδια, ανήκουν τα παρακάτω.

Δεδομένου ότι ο χώρος σάρωσης ήταν σε εξωτερικό περιβάλλον, σημαντική προϋπόθεση ήταν οι κατάλληλες καιρικές συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια ημερών που έβρεχε δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν σαρώσεις. Ιδανικές ήταν οι ημέρες που ήταν καθαρή η ατμόσφαιρα, καθώς μειωνόταν σημαντικά ο 'θόρυβος' στις σαρώσεις, κάτι που θα δούμε παρακάτω διευκόλυνε την περαιτέρω διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων.

Μία επιπλέον προϋπόθεση που πρέπει να ισχύει για την καλή παραγωγή αποτελεσμάτων από τον σαρωτή Minolta Vivid 910 είναι ο σταθερός φωτισμός. Έτσι, οι εσωτερικές σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν βραδινές ώρες με τη χρήση τεχνητού φωτός από προβολείς.

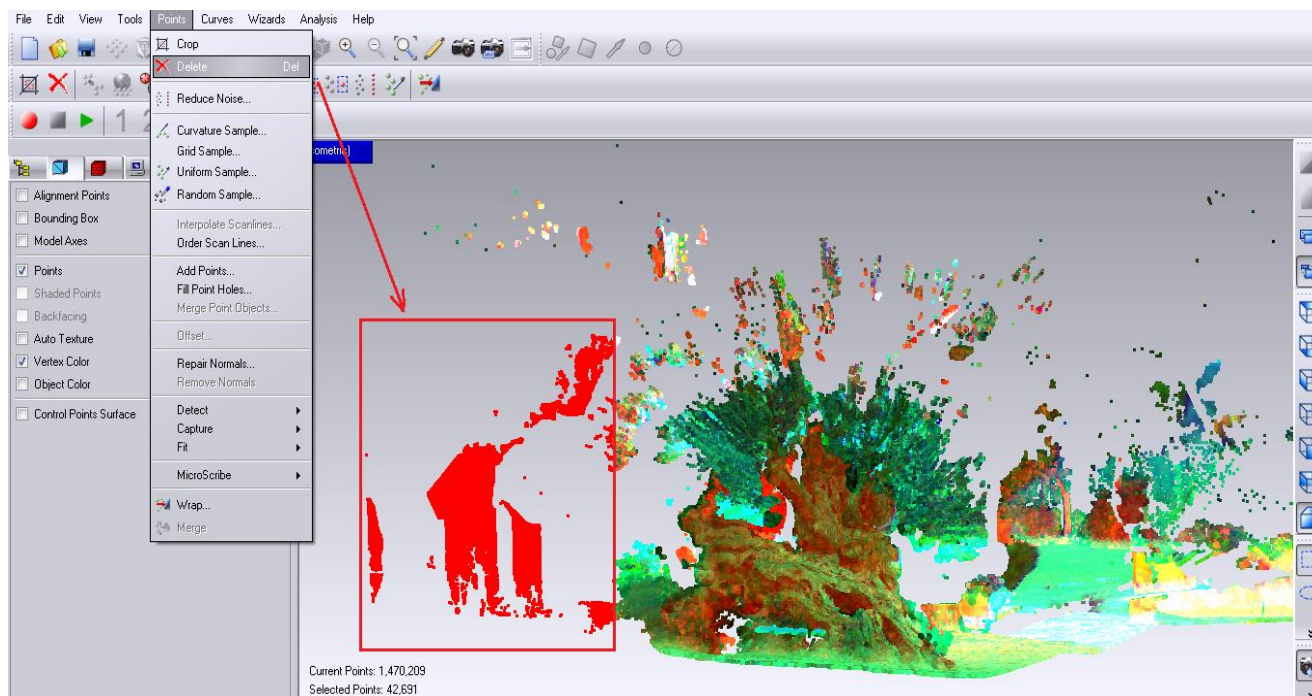
3.2 ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η διαδικασία της προεπεξεργασίας αποτελείται από δύο διαφορετικά σκέλη.

Το ένα σκέλος περιλαμβάνει την μετατροπή των πληροφοριών που λάβαμε από τον σαρωτή σε μία μορφή που αναγνωρίζει το πρόγραμμα που θα χρησιμοποιηθεί για την μετέπειτα εργασία. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Geomagic Studio 10 και ο τύπος του αρχείου που διαβάστηκε ήταν της μορφής (.xyz).

Η κάθε σάρωση εισάγεται ξεχωριστά στο λογισμικό, δηλαδή πλέον έχουμε την κάθε όψη του αντικειμένου σε διαφορετικό αρχείο. Οι όψεις αυτές έχουν τη μορφή νέφους σημείων. Κάθε σημείο αυτού του νέφους φέρει πληροφορία που το τοποθετεί σε μία συγκεκριμένη θέση μέσα στον τρισδιάστατο χώρο και αντιστοιχεί σε μια θέση πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου που ψηφιοποιήθηκε. Η πληροφορία αυτή είναι τρεις διαφορετικές τιμές, μία για κάθε άξονα (x,y,z).

Όπως είναι λογικό, κατά τη διάρκεια των σαρώσεων, εκτός από τις πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν (Area of Interest), αποτυπώθηκαν και αρκετές περιττές πληροφορίες, όπως είναι το περιβάλλον γύρω από τη Μνημειακή Ελιά (έδαφος, κτήρια κ.λπ.) καθώς και 'θόρυβος' (noisy data). Ο θόρυβος είναι ουσιαστικά παραμορφωμένα δεδομένα που εμφανίζονται με τη μορφή τυχαίων σημείων γύρω από την πραγματική επιφάνεια του αντικειμένου.

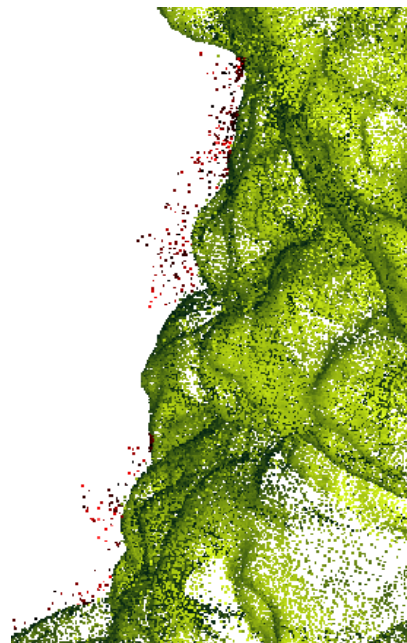


Σχήμα 3.8: Χειροκίνητη επιλογή και διαγραφή περιττών σημείων

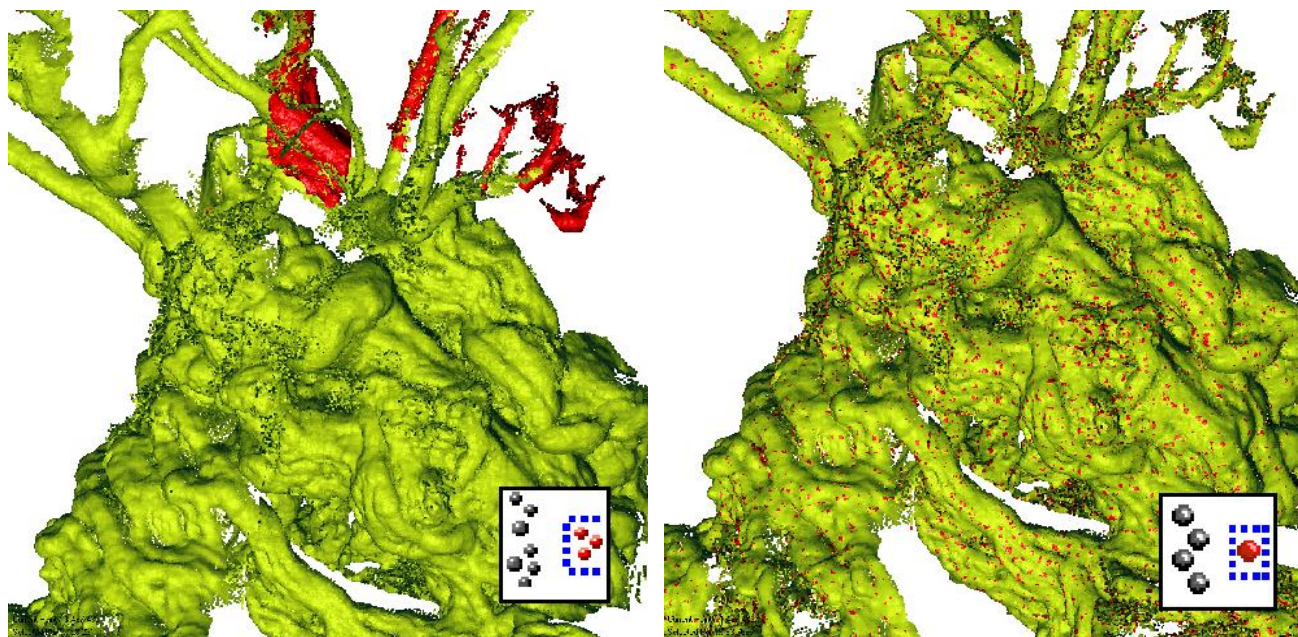
Έτσι, λοιπόν, το δεύτερο σκέλος της προ-επεξεργασίας περιλαμβάνει την προετοιμασία των όψεων απαλείφοντας τα περιττά στοιχεία της σάρωσης. Αυτό γίνεται με τη διαγραφή των σημείων που απαρτίζουν τον θόρυβο ή τα αντικείμενα του περιβάλλοντα χώρου. Επιπλέον, διαγράφονται τα απομακρυσμένα σημεία καθώς και το φύλλωμα της ελιάς, το οποίο δεν θα συμπεριληφθεί στο μοντέλο που θα δημιουργηθεί.

Το λογισμικό Geomagic Studio 10, που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των όψεων, προσφέρει διάφορες επιλογές για τον εντοπισμό των περιττών στοιχείων του νέφους σημείων. Φυσικά μπορεί να γίνει ο καθαρισμός χειροκίνητα, όπου ο χρήστης του προγράμματος επιλέγει τα σημεία που θεωρεί ότι πρέπει να διαγραφούν. Υπάρχει όμως και η αυτοματοποιημένη μεθοδολογία που προσφέρει τρεις επιλογές για την αντιμετώπιση των περιττών σημείων: επιλογή των αποσυνδεδεμένων ομάδων σημείων (Select Disconnected), επιλογή των απομακρυσμένων σημείων (Select Outliers) και η μείωση του θορύβου (Reduce Noise).

Η πρώτη επιλογή (Select Disconnected) ομαδοποιεί τα σημεία με βάση την εγγύτητά τους προς τα γειτονικά τους σημεία. Στη συνέχεια σημειώνει με κόκκινο χρώμα τις ομάδες των οποίων το μέγεθος είναι μικρότερο από ένα συγκεκριμένο ποσοστό ολόκληρου του αντικειμένου και είναι απομακρυσμένες από το κυρίως σώμα. Η ελάχιστη απομάκρυνση των ομάδων αυτών ορίζεται από τον χρήστη αν θα είναι μεγάλη, μεσαία ή μικρή.



Σχήμα 3.9: Χειροκίνητη Επιλογή



Σχήμα 3.10: Select Disconnected (αριστερά) Select Outliers (δεξιά)

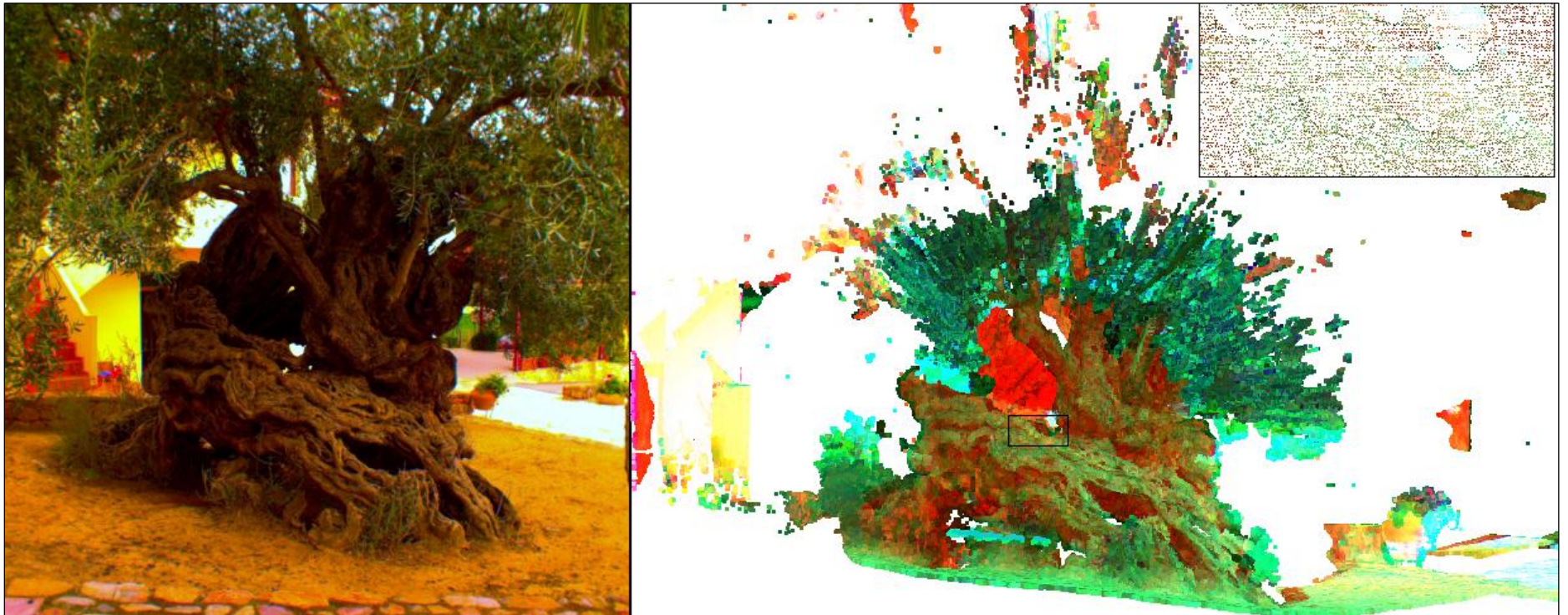
Σε αντίθεση με την παραπάνω εντολή, η δεύτερη επιλογή (Select Outliers) σημειώνει με κόκκινο χρώμα τα μεμονωμένα σημεία που είναι απομακρυσμένα από το κυρίως σώμα. Και σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να διαλέξει την ευαισθησία (Sensitivity) η οποία κυμαίνεται από 0.0 μέχρι 100.0 .

Η επιλογή μείωσης του θορύβου είναι ένας συνδυασμός εντολών που μεταξύ άλλων περιλαμβάνει τις δύο που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Οι εντολές αυτές ελέγχουν τη λειότητα της επιφάνειας, τα σημεία που προβάλλονται, τις αποδεκτές ανοχές.

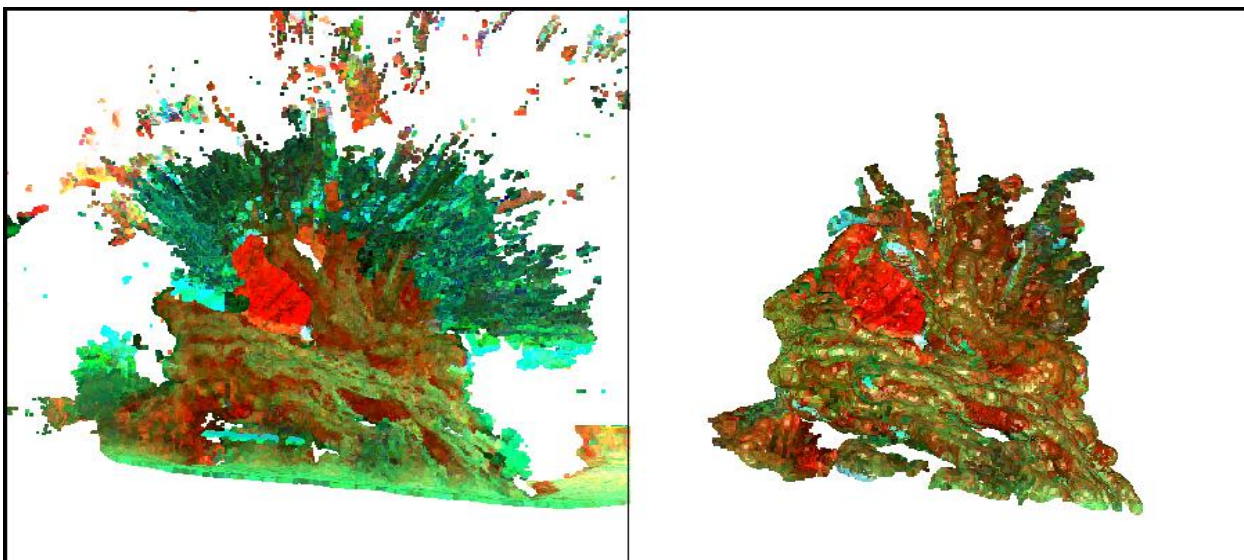
Σε αυτή την φάση καθαρισμού της κάθε όψης ξεχωριστά θα χρησιμοποιήθηκαν οι δύο πρώτες εντολές, ενώ η μείωση θορύβου εφαρμόστηκε σε επόμενο στάδιο στο ενοποιημένο νέφος σημείων.

Στη δεξιά πλευρά του σχήματος 3.11 φαίνεται η αναπαράσταση της ελιάς σε μορφή νέφους σημείων από το πρόγραμμα Geomagic Studio 10. Στην πάνω δεξιά γωνία έχει μεγεθυνθεί ένα μέρος του νέφους και μπορούν να διακριθούν τα σημεία που το απαρτίζουν. Στην αριστερή φωτογραφία φαίνεται η όψη της Ελιάς από τη γωνία που τοποθετήθηκε ο σαρωτής. Παρατηρούμε ότι έχουν αποτυπωθεί μόνο τα σημεία που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των τριών μέτρων από των σαρωτή.

Στο σχήμα 3.12 παρουσιάζεται η μορφή του νέφους σημείων μιας σάρωσης πριν και μετά την επεξεργασία. Η επεξεργασία αυτή περιλάμβανε κυρίως χειροκίνητη επιλογή των σημείων που αποτελούσαν το έδαφος, το περιβάλλον και το φύλλωμα της Μνημειακής Ελιάς. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν οι επιλογές Select Disconnected και Select Outliers για την απαλοιφή του γενικότερου θορύβου.

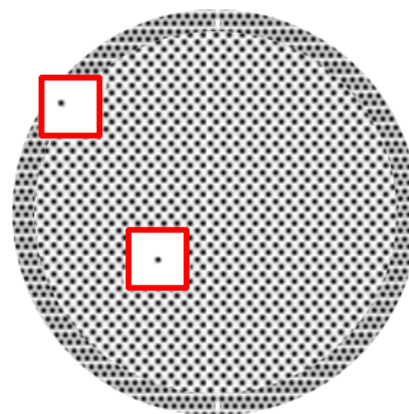


Σχήμα 3.11: Μνημειακή Ελιά Βουβών (αριστερά) και η αναπαράσταση της σε μορφή νέφους σημείων (δεξιά)



Σχήμα 3.12: Νέφος σημείων πριν την επεξεργασία (αριστερά) και μετά (δεξιά)

Εφόσον καθαριστούν οι διάφορες όψεις μπορεί να μειωθεί το μέγεθος τους με τη μέθοδο της δειγματοληψίας και του φιλτραρίσματος (Sampling and Filtering). Για το στάδιο αυτό χρησιμοποιείται η εντολή Uniform Sample. Στην πραγματικότητα αυτό που συμβαίνει είναι η μείωση του αριθμού των σημείων για την κάθε όψη, χωρίς να χειροτερέψει η ποιότητα του τελικού αποτελέσματος και κάνοντας τα αρχεία των όψεων πιο εύκολα στον χειρισμό τους από τον λογισμικό. Κατά τη διάρκεια της μείωσης των σημείων με Uniform Sample το μοντέλο χωρίζεται σε ισομεγέθη κελιά μέσα στα οποία επιλέγεται να διατηρηθεί ένα μόνο σημείο, το οποίο είναι και το κέντρο βάρους του κελιού αυτού (Σχήμα 3.13). Τα υπόλοιπα σημεία του κελιού διαγράφονται. Υπάρχει όμως η επιλογή να δοθεί προτεραιότητα στην καμπυλότητα του μοντέλου (Curvature Priority), όπου η μείωση των σημείων συμβαίνει κατά κύριο λόγο στις πιο επίπεδες επιφάνειες. Εφόσον το σχήμα μας έχει πολύ λίγες επίπεδες επιφάνειες διατηρείται σε πολύ ικανοποιητικό επίπεδο η αρχική του μορφή.



Σχήμα 3.13: Η λογική της μείωσης σημείων χρησιμοποιώντας Uniform Sample

Η εντολή αυτή είναι χρήσιμο να εφαρμοστεί στη συγκεκριμένη φάση, καθώς ο όγκος πληροφοριών που έχουμε είναι πολύ μεγάλος. Το μεγάλο μέγεθος των αρχείων των σαρώσεων όχι μόνο είναι περιττό, καθώς μπορούμε να βγάλουμε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα με μικρότερο όγκο πληροφοριών, αλλά δυσκολεύει και τον χειρισμό τους από το λογισμικό. Για τον λόγο αυτό μέσος όρος του μεγέθους των σαρώσεων μειώθηκε από 22 MB στα 7 MB.

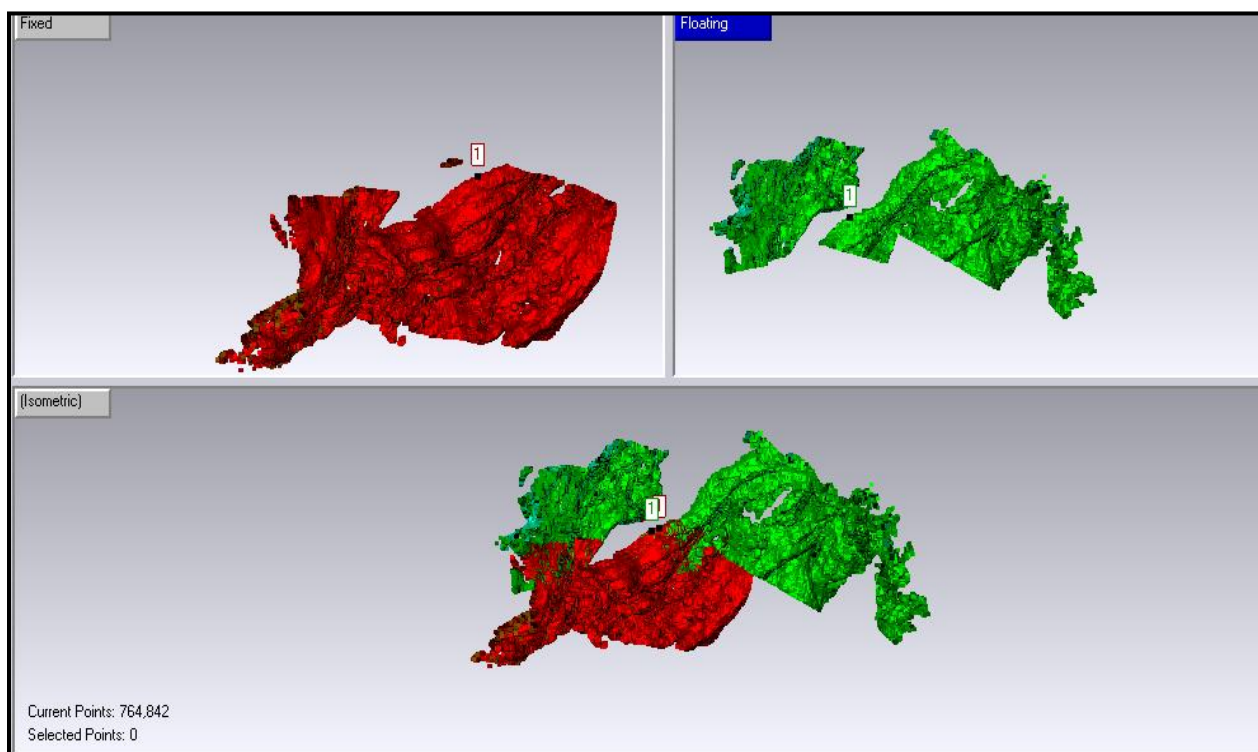
3.3 ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΜΗΜΑΤΙΚΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ

Ολοκληρώνοντας την φάση καθαρισμού της κάθε σάρωσης, σειρά έχει η ενοποίηση τους. Όπως προαναφέρθηκε, οι σαρώσεις έγιναν από διαφορετικές οπτικές γωνίας με σκοπό την πλήρη καταγραφή του αντικειμένου. Για να αποτυπωθεί ολοκληρωμένα και με μεγαλύτερη λεπτομέρεια ο κορμός, οι διαφορετικές όψεις της Ελιάς που επιλέχθηκαν αλληλεπικαλύπτονται. Αυτό συμβαίνει διότι, εκτός του ότι είναι επιθυμητό να έχουμε όσο το δυνατόν περισσότερη πληροφορία, επιβοηθείται και η διαδικασία της ενοποίησης των τμημάτων αυτών. Έτσι λοιπόν, οι διαδοχικές σαρώσεις έχουν πάντα ένα κομμάτι όπου το νέφος σημείων διαγράφει την ίδια όψη.

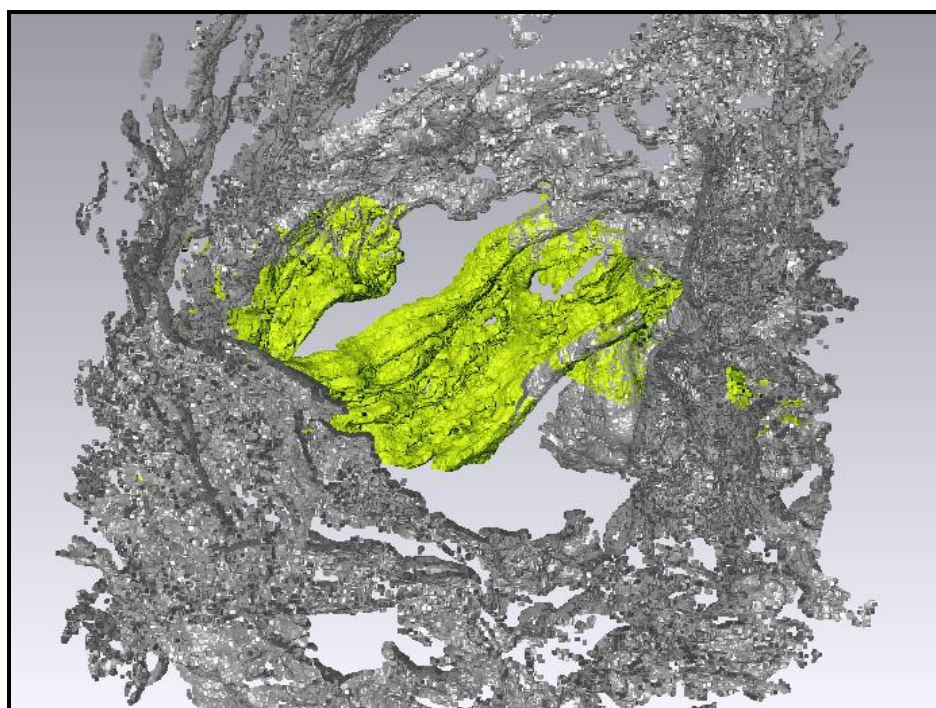
Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ευθυγράμμιση και ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων πραγματοποιήθηκαν χειροκίνητα κυρίως, με την επιλογή που προσφέρει το λογισμικό «ευθυγράμμιση με χρήση πολλαπλών σημείων» (n-point registration) και μερικές φορές με την επιλογή «ευθυγράμμιση με ένα και μοναδικό κοινό σημείο» (1-point registration).

Όσον αφορά την περίπτωση, σε κάθε τμηματική σάρωση επιλέγονται κάποια σημεία (το λιγότερο τρία) τα οποία είναι κοινά και στις δύο σαρώσεις. Στη δεύτερη περίπτωση η ίδια εργασία πραγματοποιείται με την επιλογή ενός μόνο κοινού σημείου. Είναι πολύ βασικό, πριν προσδιοριστεί το κοινό αυτό σημείο, να φροντίσουμε οι δύο σαρώσεις να βρίσκονται τοποθετημένες με τον ίδιο προσανατολισμό, ώστε οι αποκλίσεις από την ευθυγράμμιση να είναι ελάχιστες. Συμπερασματικά, η επιλογή ευθυγράμμισης με ένα κοινό σημείο από μία άποψη είναι πιο γρήγορη, αλλά προκειμένου να παραχθούν σωστά αποτελέσματα απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή.

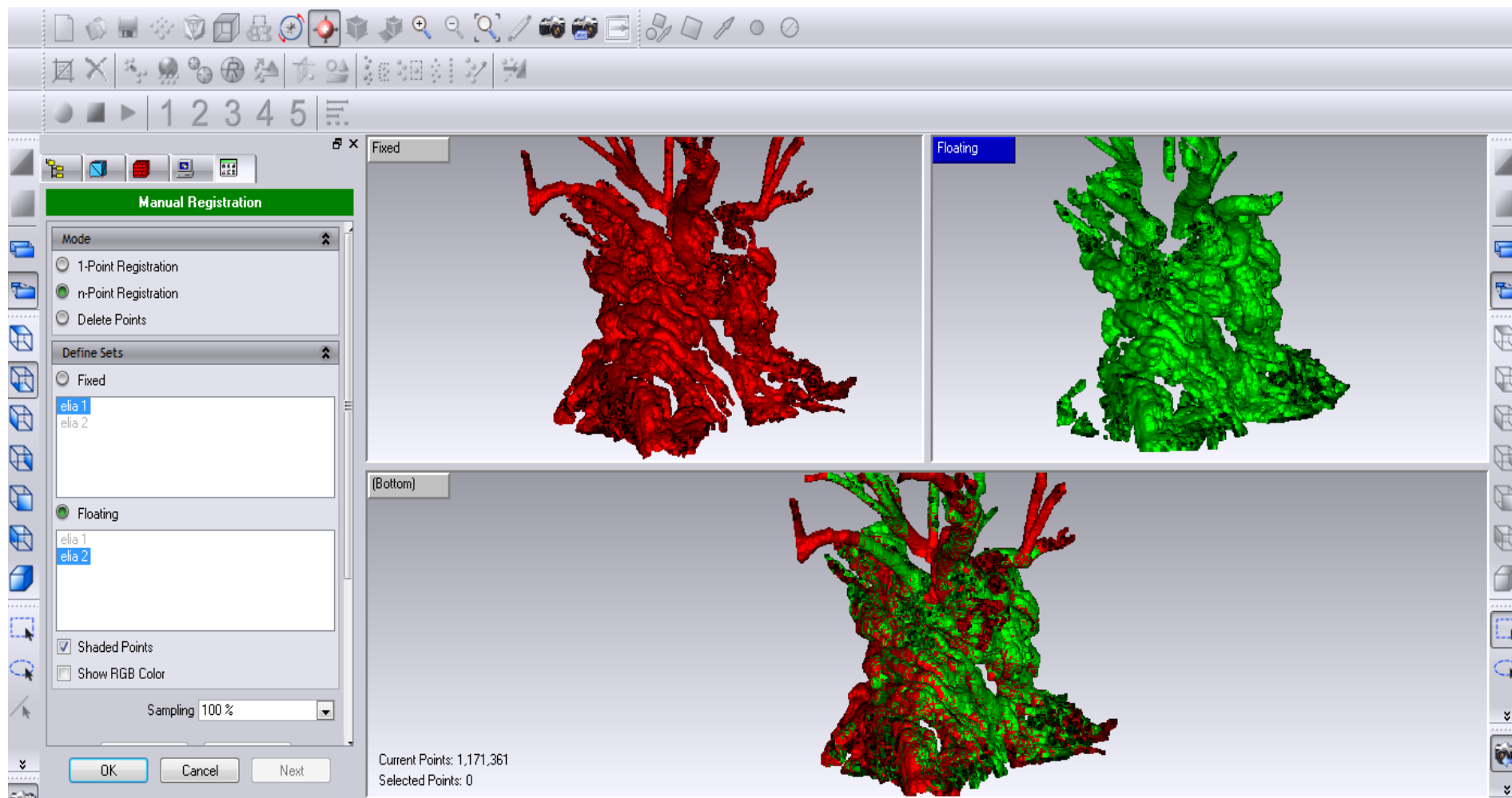
Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να παρατηρηθεί και στο σχήμα 3.14 όπου φαίνεται να έχουν επιλεγθεί δύο κοινά σημεία στις όψεις που μας ενδιαφέρουν. Στην περιοχή προβολής εμφανίζονται τρία παράθυρα. Στο παράθυρο πάνω αριστερά βρίσκεται η πρώτη σάρωση που παρουσιάζεται ως κόκκινο νέφος σημείων (Fixed) ενώ στο δεξί παράθυρο το πράσινο νέφος σημείων απεικονίζει τη δεύτερη σάρωση (Floating). Στο κάτω μέρος φαίνεται ο συνδυασμός των δύο σαρώσεων, όπου η κάθε μια έχει κρατήσει το χρώμα της για να μπορεί να διαπιστωθεί ευκολότερα εάν η ενοποίηση είναι καλή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση της ενοποίησης των σαρώσεων “elia 1” και “elia 2” βλέπουμε στο παράθυρο στο κάτω μέρος να αναμειγνύονται το πράσινο και κόκκινο, πράγμα που σημαίνει ότι η ένωση τους έχει γίνει σωστά. Υπάρχουν σημεία όπου υπερισχύει το ένα απ’το δύο χρώματα. Τα σημεία αυτά είναι περιοχές όπου σε μια από τις δύο σαρώσεις έχουμε περισσότερη πληροφορία για την επιφάνεια του κορμού, επομένως η μία σάρωση συμπληρώνει την άλλη. Αντίστοιχα θα προστεθούν και οι υπόλοιπες σαρώσεις, διαγράφοντας τελικά ολοκληρωμένα τον κορμό.



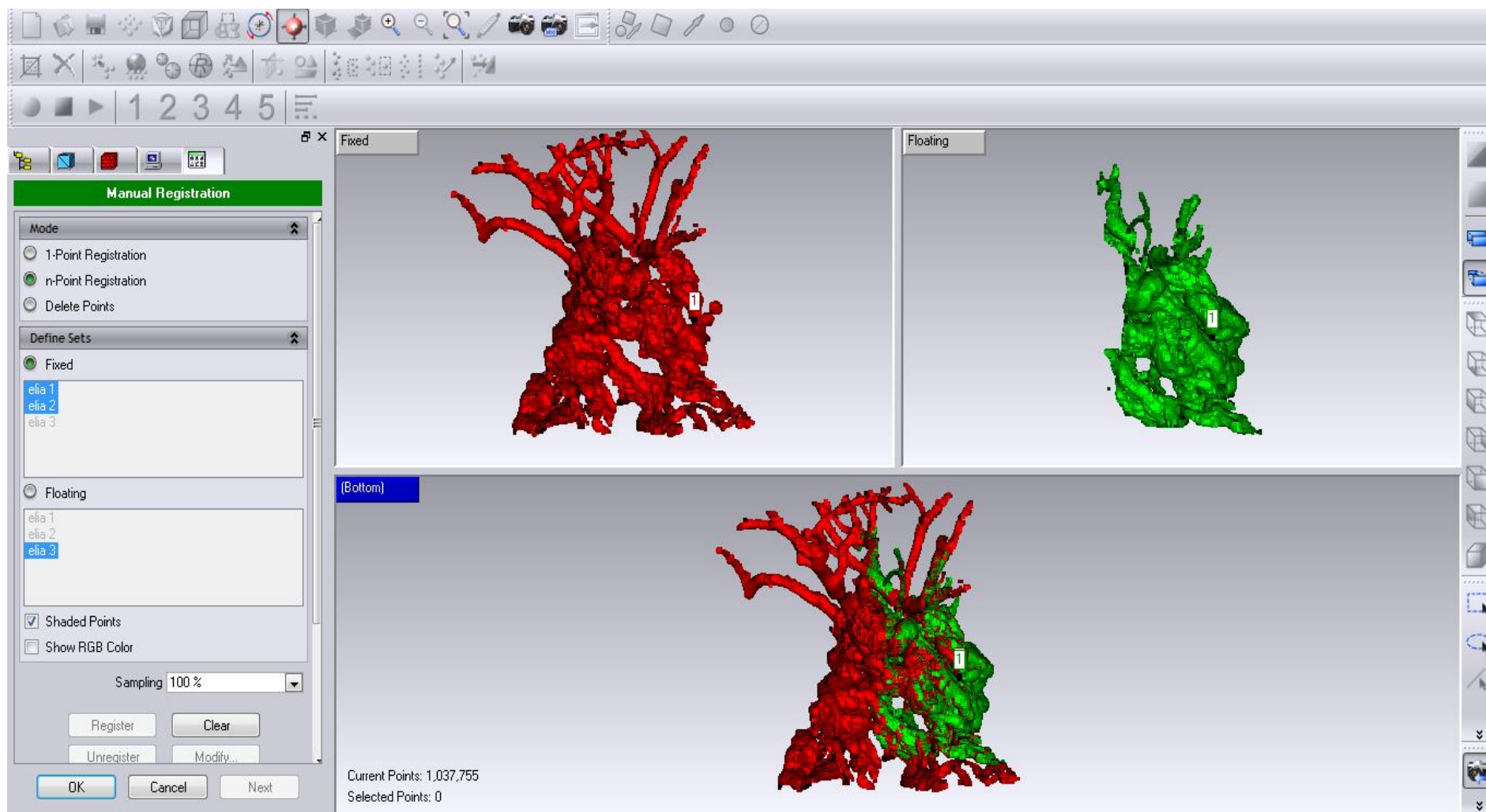
Σχήμα 3.14: Ενοποίηση δύο όψεων



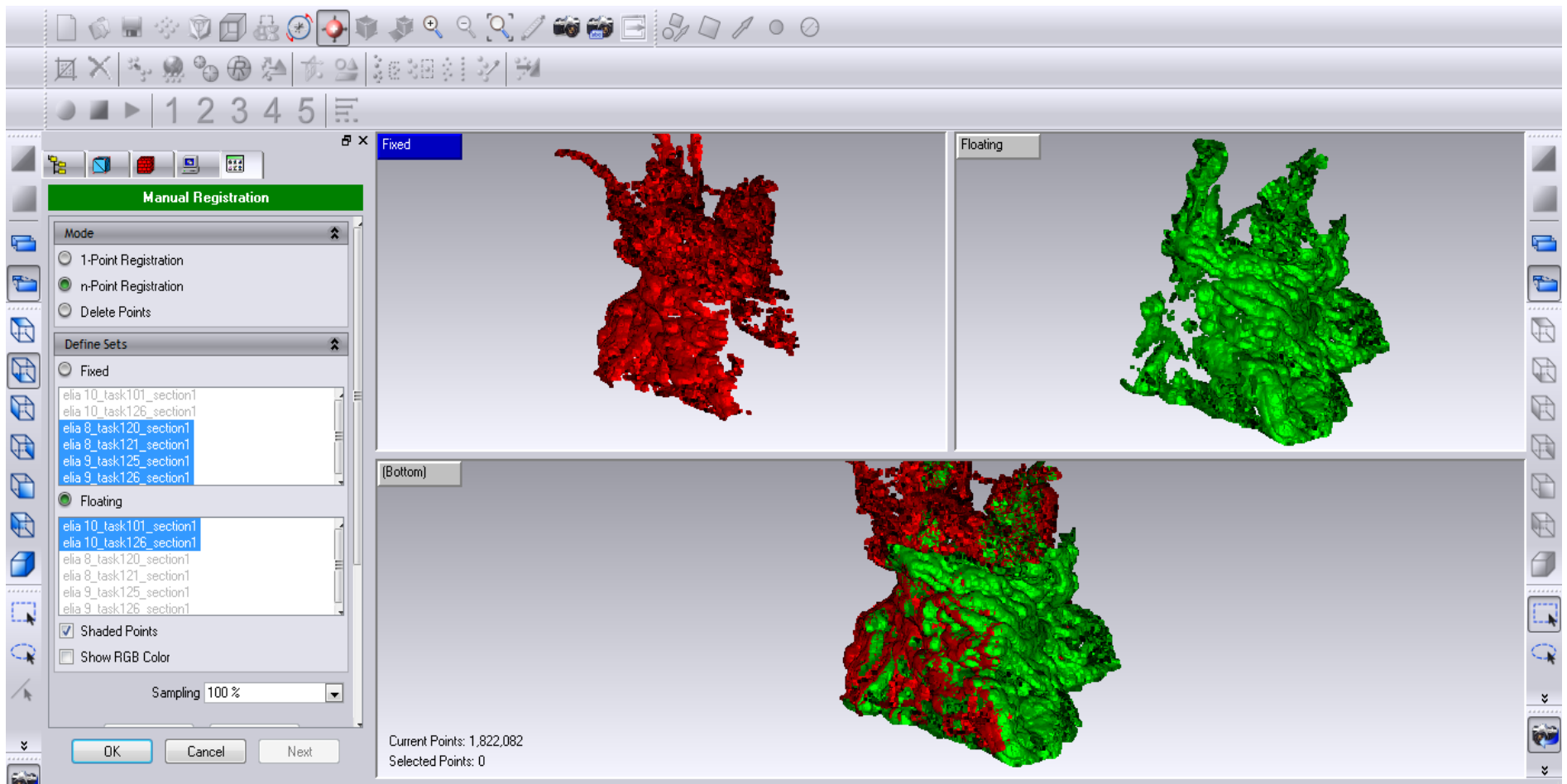
Σχήμα 3.15: Θέση των ενοποιημένων όψεων στην εσωτερική επιφάνεια



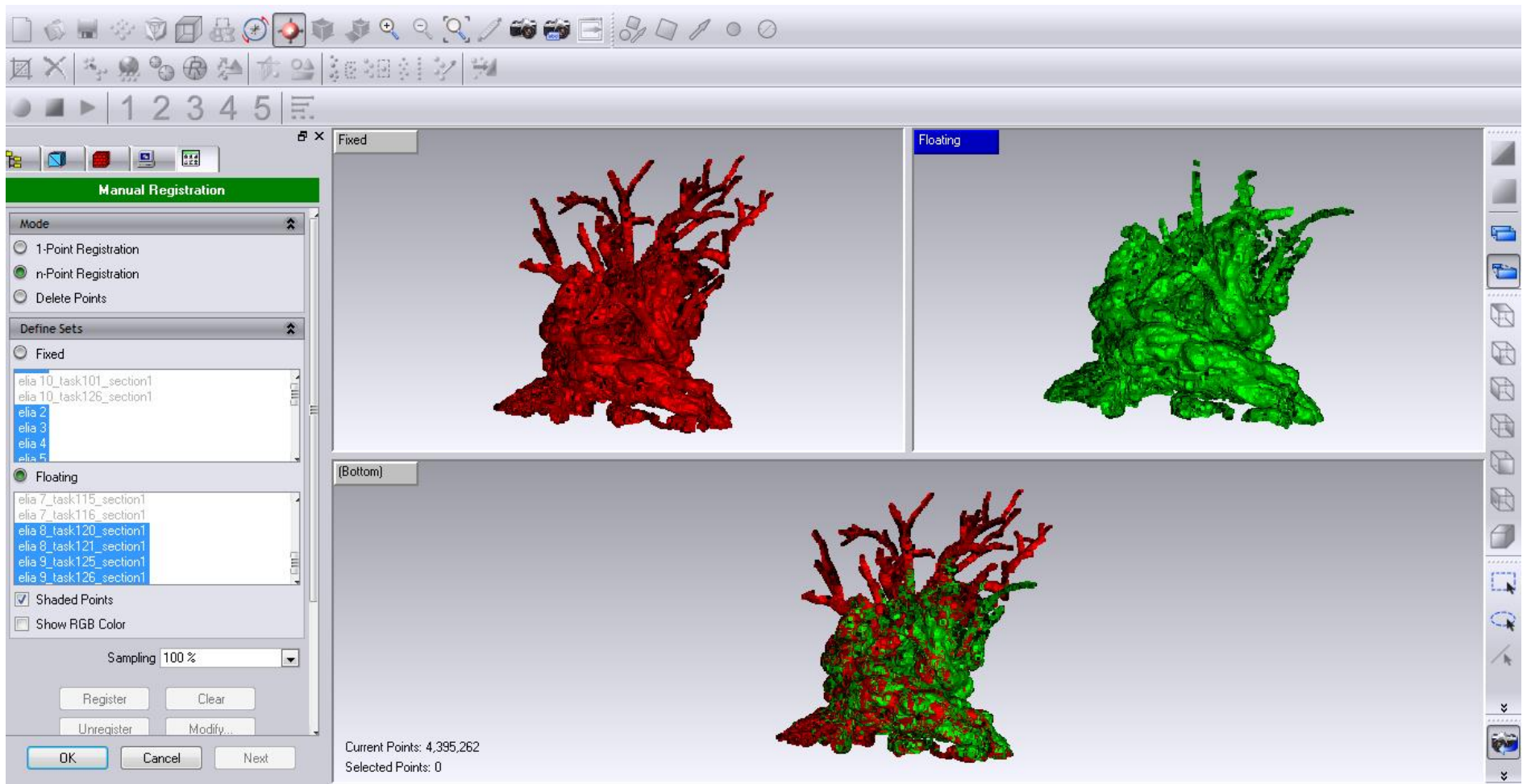
Σχήμα 3.16: Ενοποίηση της πρώτης και δεύτερης εξωτερική σάρωσης



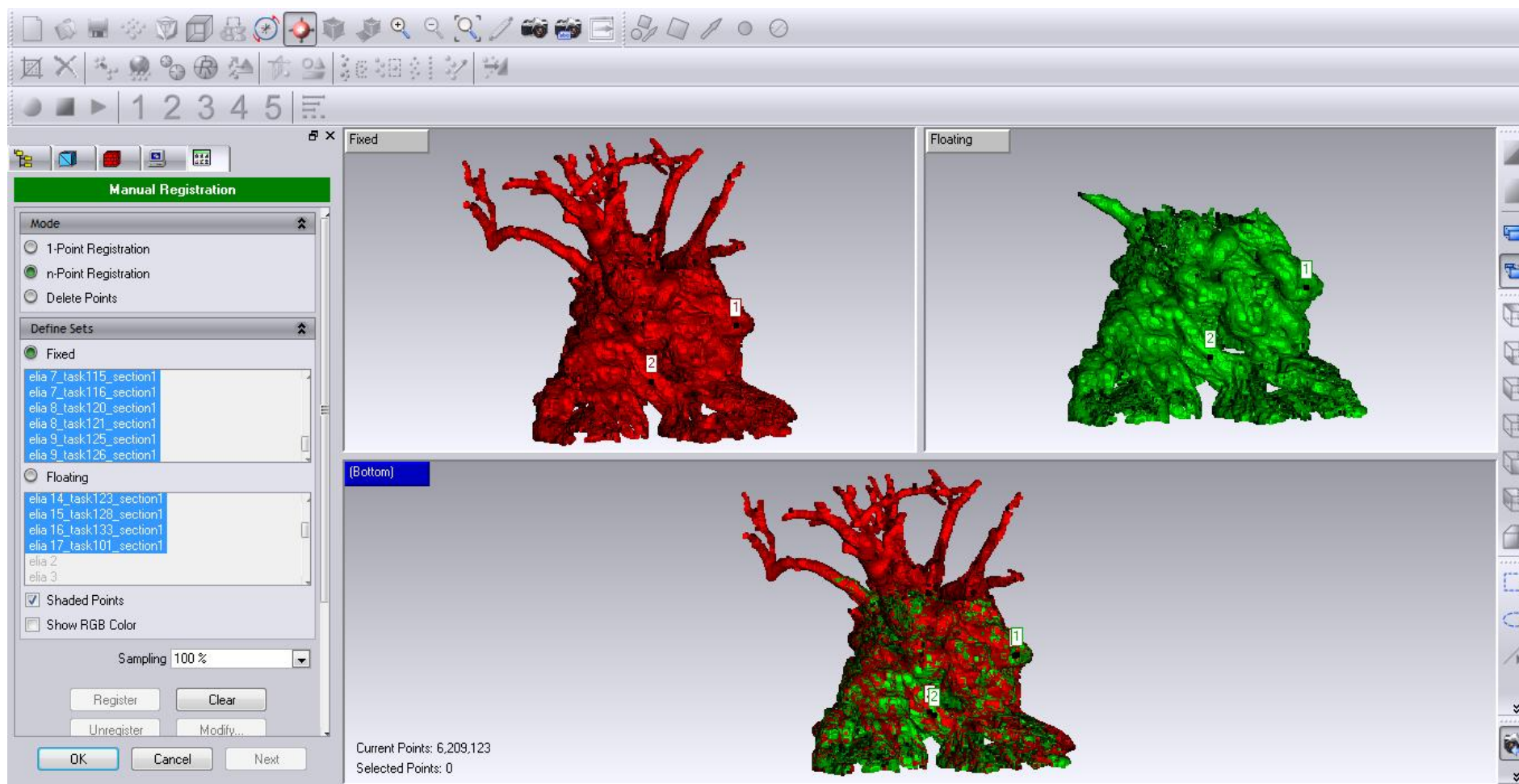
Σχήμα 3.17: Ενοποίηση της πρώτης και δεύτερης εξωτερική σάρωσης με την Τρίτη (Δημιουργία του Group 1)



Σχήμα 3.18: Δημιουργία του Group 2

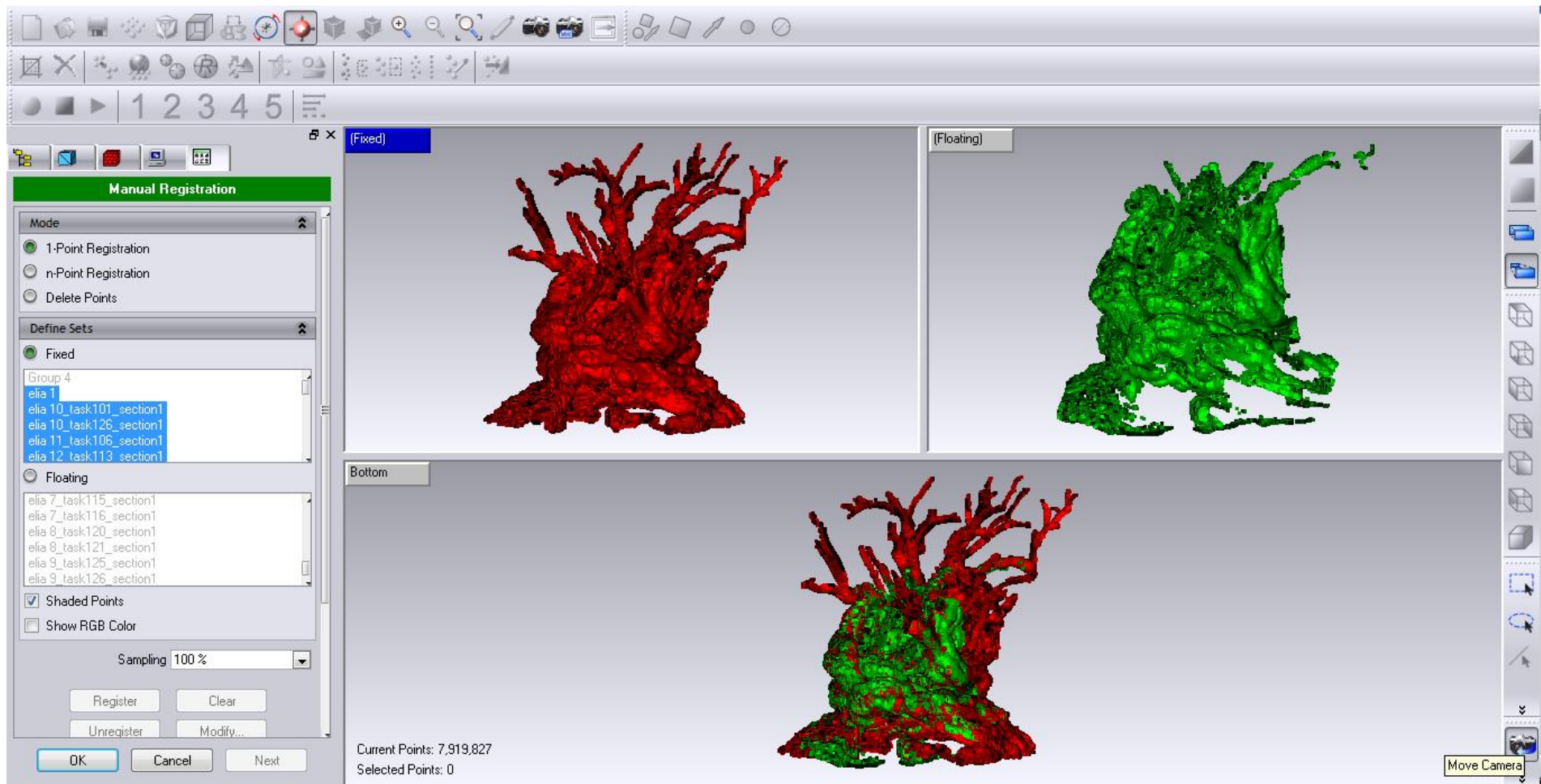


Σχήμα 3.19: Ενωση των Group 1 (ένδεκα σαρώσεις) και Group 2 (έξι σαρώσεις)

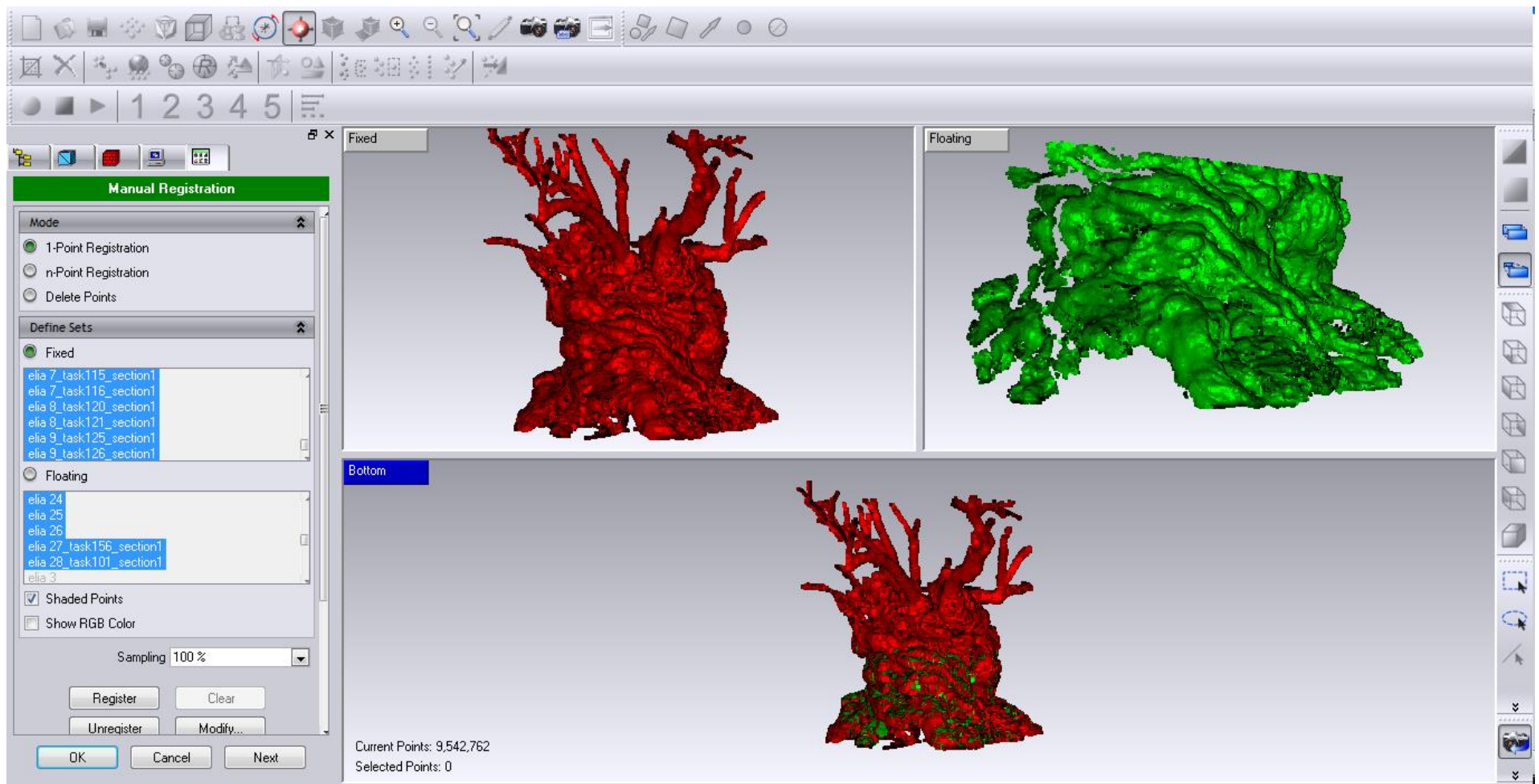


Σχήμα 3.20: Ενωση των Group 1 και Group 2 με το Group 3 (επτά σαρώσεις)

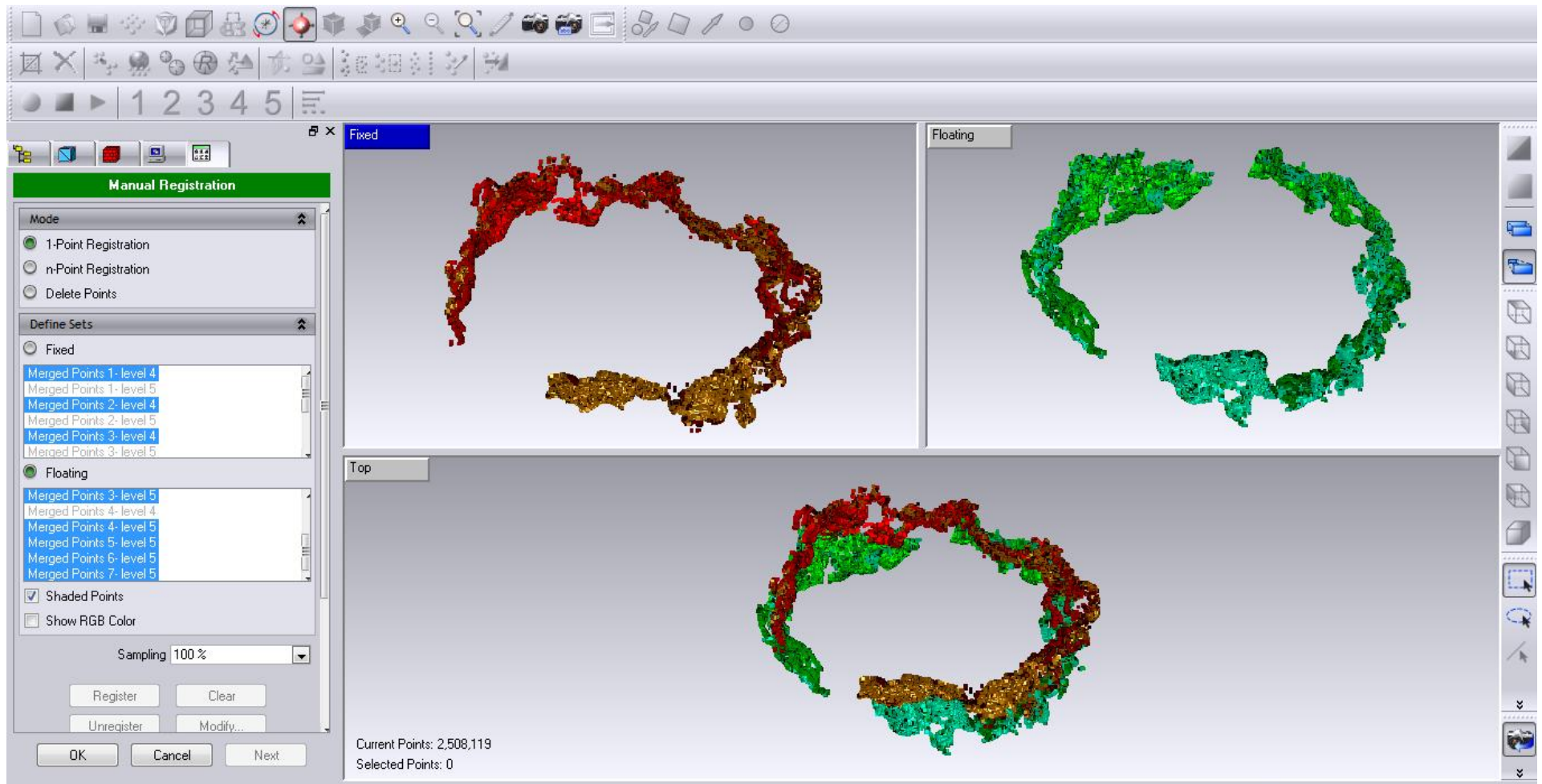
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ



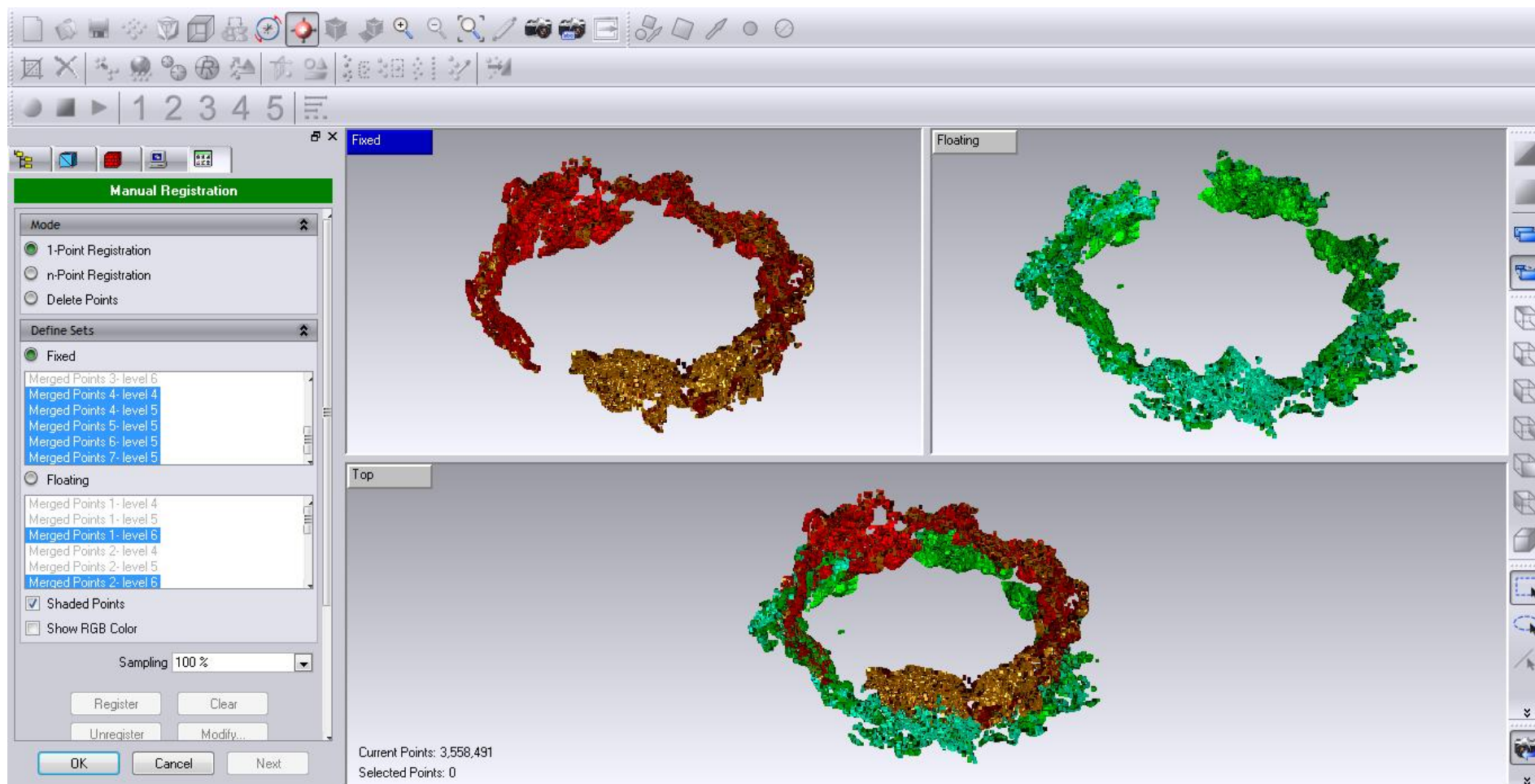
Σχήμα 3.21: Ενωση των Group 1, 2, 3 με το Group 4 (τέσσερις σαρώσεις)



Σχήμα 3.22: Ενωση των Group 1, 2, 3, 4 με το Group 5 (επτά σαρώσεις)



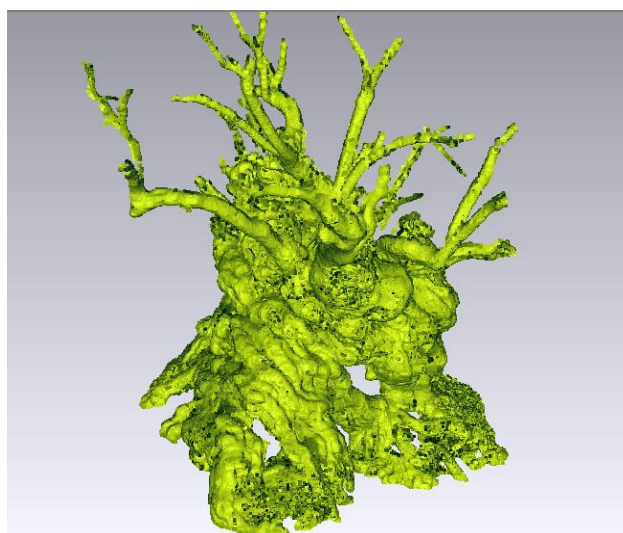
Σχήμα 3.23: Ενωση του Group 4 με το Group 5 (εσωτερικής επιφάνειας)



Σχήμα 3.24: Ενωση του Group 4 και 5 με το Group 6 (εσωτερικής επιφάνειας)

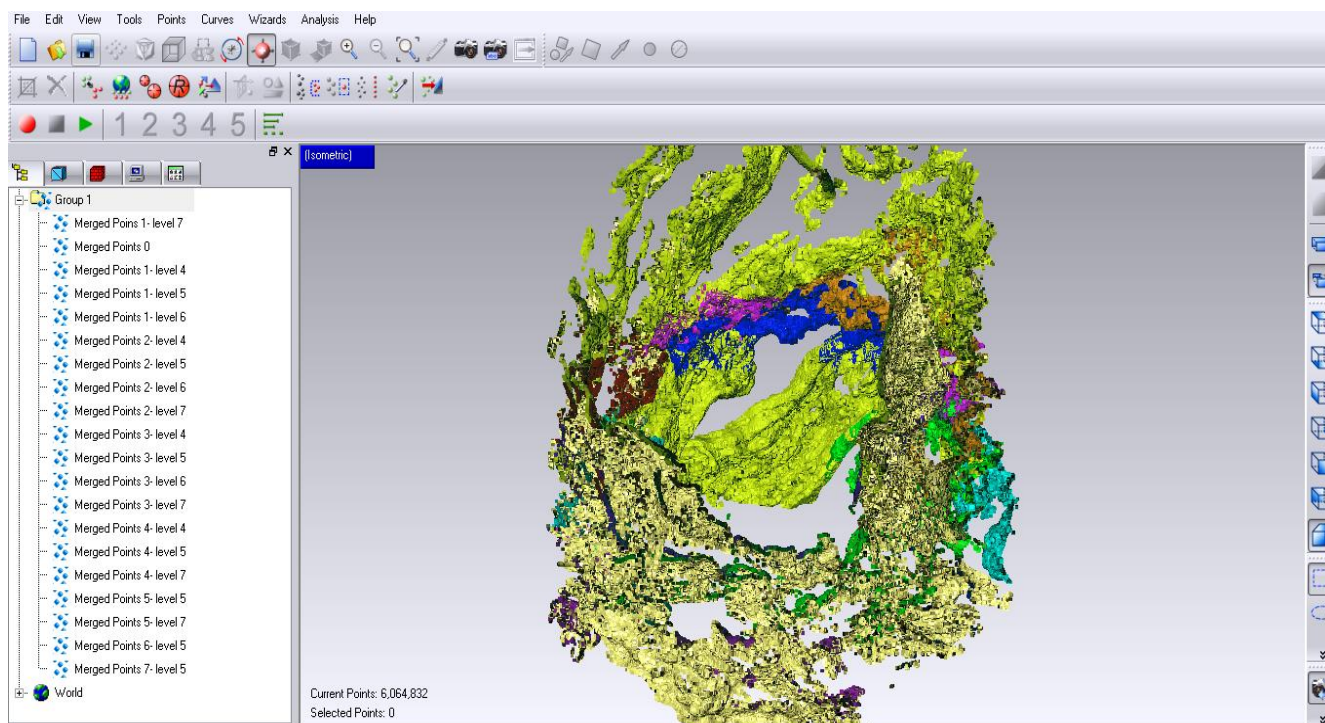
Λόγω του μεγάλου αριθμού σαρώσεων έπρεπε να χωριστούν σε ομάδες για την ευκολότερη χρήση τους. Υπήρχαν δύο κύριες ομάδες που ξεχώριζαν τις εξωτερικές σαρώσεις από τις εσωτερικές. Πέρα όμως από τον διαχωρισμό τους σε αυτές τις κύριες ομάδες, χωρίστηκαν και σε κάποιες μικρότερες ανάλογα με την απόλυτη θέση τους.

Από το σχήμα 3.16 έως το σχήμα 3.24 φαίνεται εν συντομία η διαδικασία ενοποίησης όλων των σαρώσεων της εξωτερικής επιφάνειας. Συνολικά δημιουργήθηκαν πέντε διαφορετικές ομάδες. Το τελικό αποτέλεσμα, που διαμορφώθηκε από τις συνολικά τριάντα πέντε σαρώσεις της εξωτερικής επιφάνειας φαίνεται στο σχήμα 3.25.



Σχήμα 3.25: Ενοποίηση των σαρώσεων εξωτερικής επιφάνειας της Ελιάς Βουβών

Το τελικό αποτέλεσμα της εσωτερικής επιφάνειας της Ελιάς Βουβών μπορεί να παρατηρηθεί στο σχήμα 3.26. Εκεί βλέπουμε όλες τις σαρώσεις της εσωτερικής επιφάνειας (κύρια ομάδα) ενοποιημένες. Οι δευτερεύουσες ομάδες ήταν οκτώ και μεταξύ τους περιείχαν εκατόν σαράντα πέντε σαρώσεις. Η κάθε δευτερεύουσα ομάδα φαίνεται στο σχήμα να έχει διαφορετικό χρώμα.

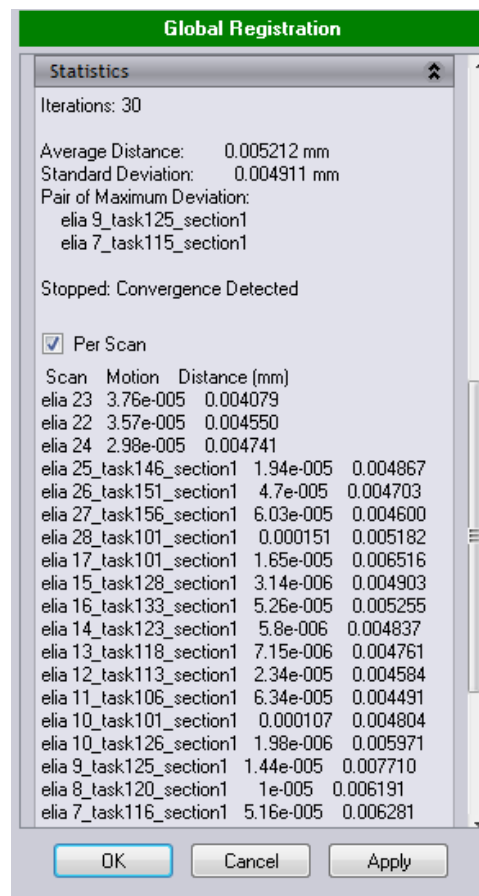


Σχήμα 3.26: Ενοποίηση σαρώσεων εσωτερικής επιφάνειας της Ελιάς Βουβών

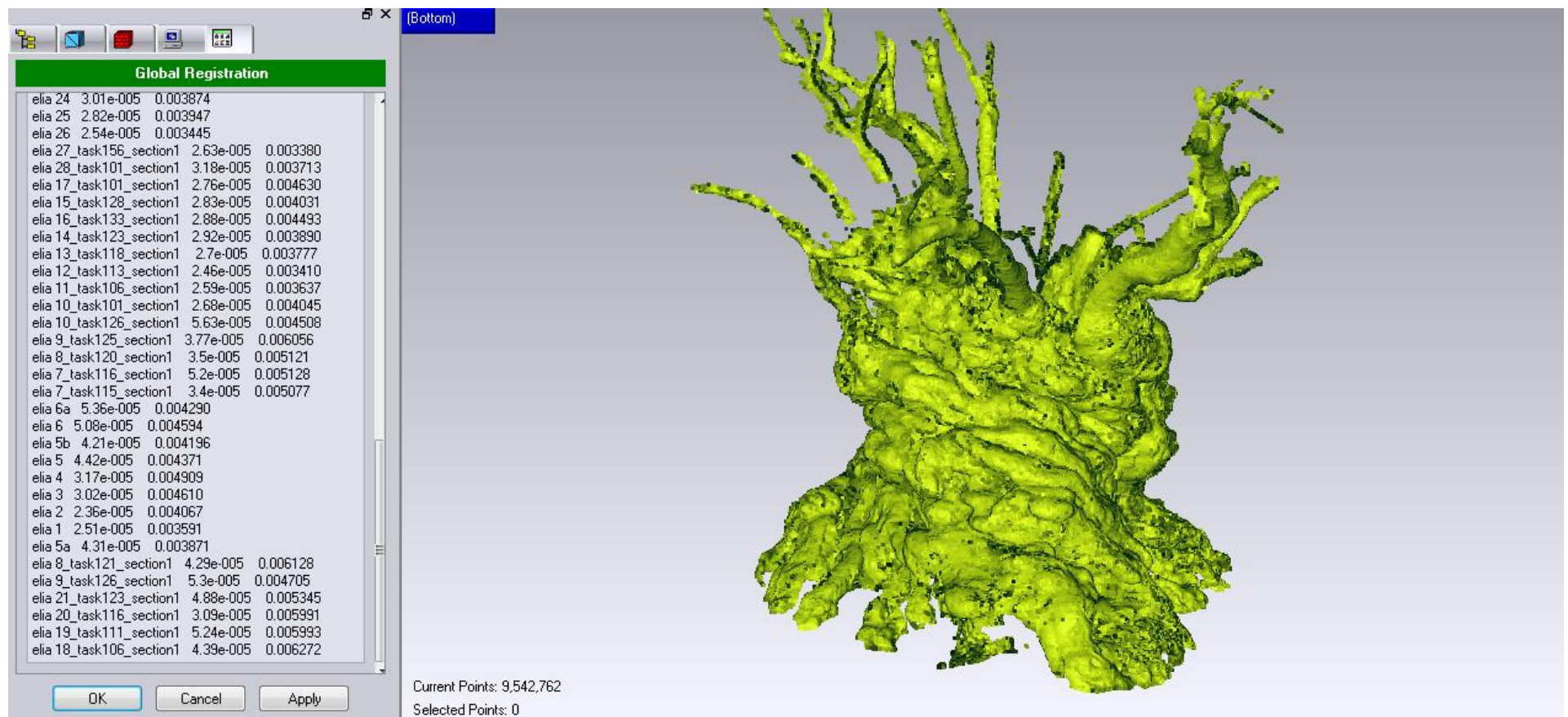
Μετά τη διαδικασία της χειροκίνητης καταχώρησης (manual registration) των όψεων-σαρώσεων, ακολουθεί η αυτόματη εντολή Global Registration. Η εντολή αυτή είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί, αφού συχνά με τη χειροκίνητη καταχώρηση παρουσιάζονται αποκλίσεις οι οποίες είναι πιο εύκολο να διορθωθούν με την αυτόματη αυτή διαδικασία. Στην ουσία, η επιλογή Global Registration με βάση συγκεκριμένους αλγορίθμους υπολογίζει τις αποστάσεις μεταξύ όλων των σαρώσεων και προσπαθεί να διορθώσει τυχόν αποκλίσεις μετακινώντας τις σαρώσεις σε βέλτιστο σημείο. Είναι ένας τρόπος να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα που να επαληθεύονται και από μαθηματικούς αλγορίθμους. Ενώ γενικά είναι ένας πολύ καλός τρόπος επαλήθευσης και διόρθωσης της χειροκίνητης διαδικασίας πρέπει να δοθεί προσοχή καθώς σε περίπτωση που ο αριθμός των επικαλυπτόμενων σημείων (τα πανομοιότυπα τμήματα) μεταξύ δύο σαρώσεων είναι μικρός τα αποτελέσματα της καταχώρησης ίσως να μην είναι ακριβή.

Έχουμε να διαλέξουμε μεταξύ κάποιων βασικών ρυθμίσεων ευθυγράμμισης όσον αφορά τις βελτιώσεις και τις αποκλίσεις των διαφόρων σημείων του. Κρατώντας τις αρχικές ρυθμίσεις ξεκινάμε την διαδικασία επιλέγοντας εφαρμογή της εντολής (Apply) και παρατηρούμε το πρόγραμμα να πραγματοποιεί υπολογισμούς που αφορούν τις αποκλίσεις των σημείων. Το πρόγραμμα πραγματοποιεί επαναληπτικά τους υπολογισμούς αυτούς μέχρι να αρχίσει να συγκλίνει σε κάποιες τιμές.

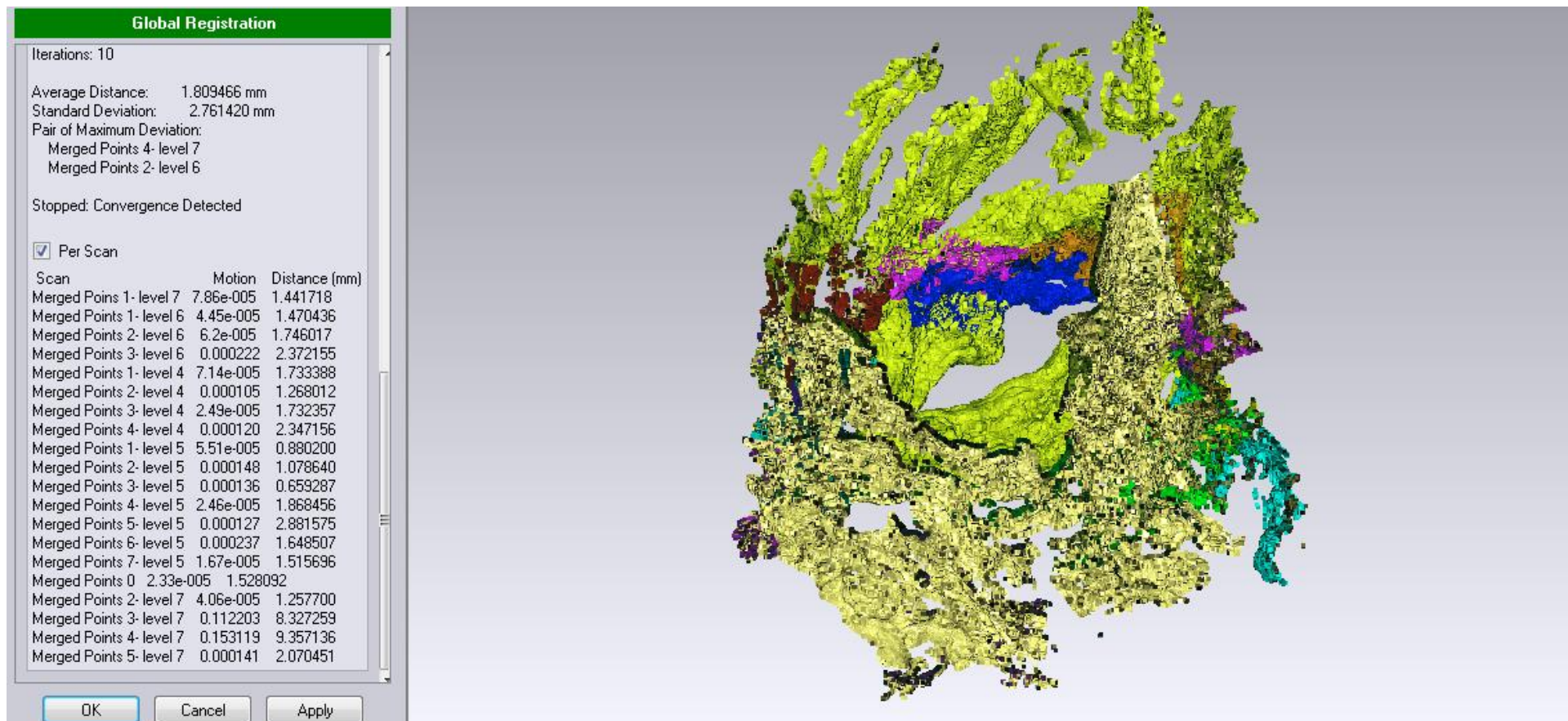
Στο δίπλα σχήμα φαίνεται ότι χρειάστηκαν συνολικά 30 επαναλήψεις (Iterations) για να πραγματοποιηθεί η σύγκλιση του αλγορίθμου για την εξωτερική επιφάνεια. Χρειάστηκαν 10 επαναλήψεις για την εσωτερική επιφάνεια. Ο σχετικά μεγάλος αριθμός των επαναλήψεων οφείλεται και στο πλήθος των σαρώσεων καθώς και στον μεγάλο αριθμό των σημείων. Όπως βλέπουμε, επίσης, η χειροκίνητη ενοποίηση ήταν αρκετά καλή καθώς οι μετακινήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την βελτιστοποίηση κυμαίνονταν από 0.004 έως 0.007 mm για την εξωτερική επιφάνεια, με μέση μετακίνηση τα 0.0052 mm και τυπική απόκλιση 0.0049 mm. Όσον αφορά την εσωτερική επιφάνεια, η μέση απόσταση ήταν 1.81 mm και η τυπική απόκλιση 2.76 mm.



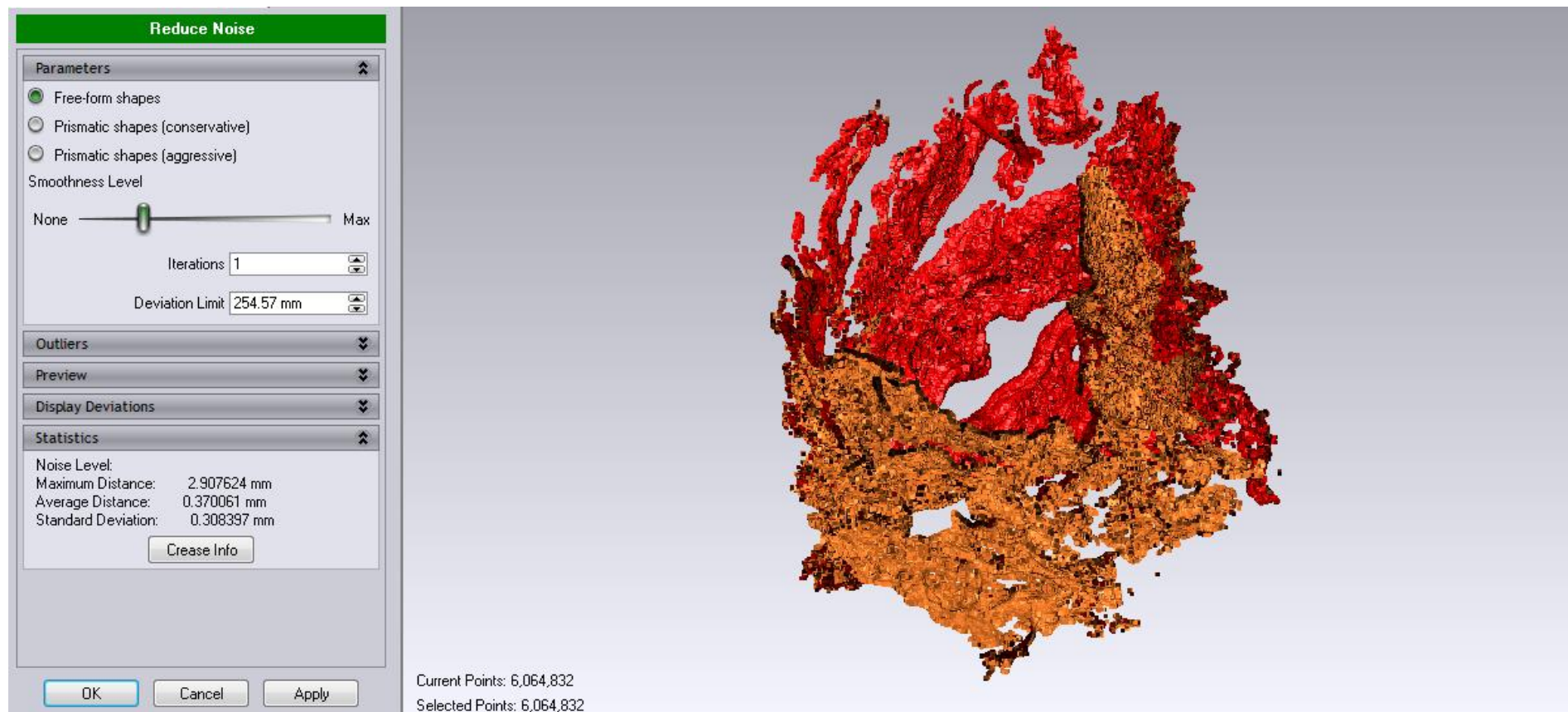
Σχήμα 3.27: Πίνακας αποτελεσμάτων της διαδικασίας Global Registration



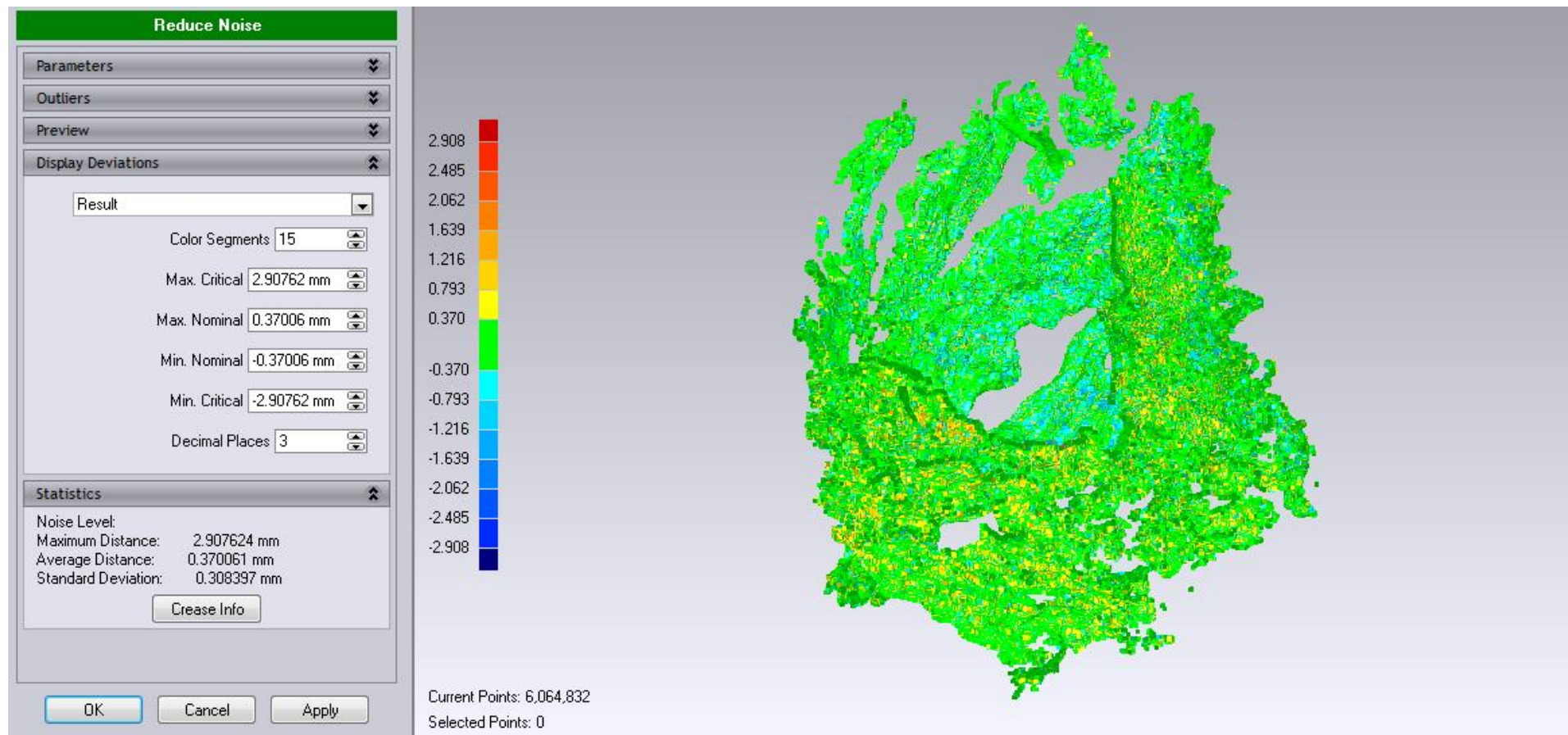
Σχήμα 3.28: Πίνακας αποτελεσμάτων της διαδικασίας Global Registration για την εξωτερική επιφάνεια



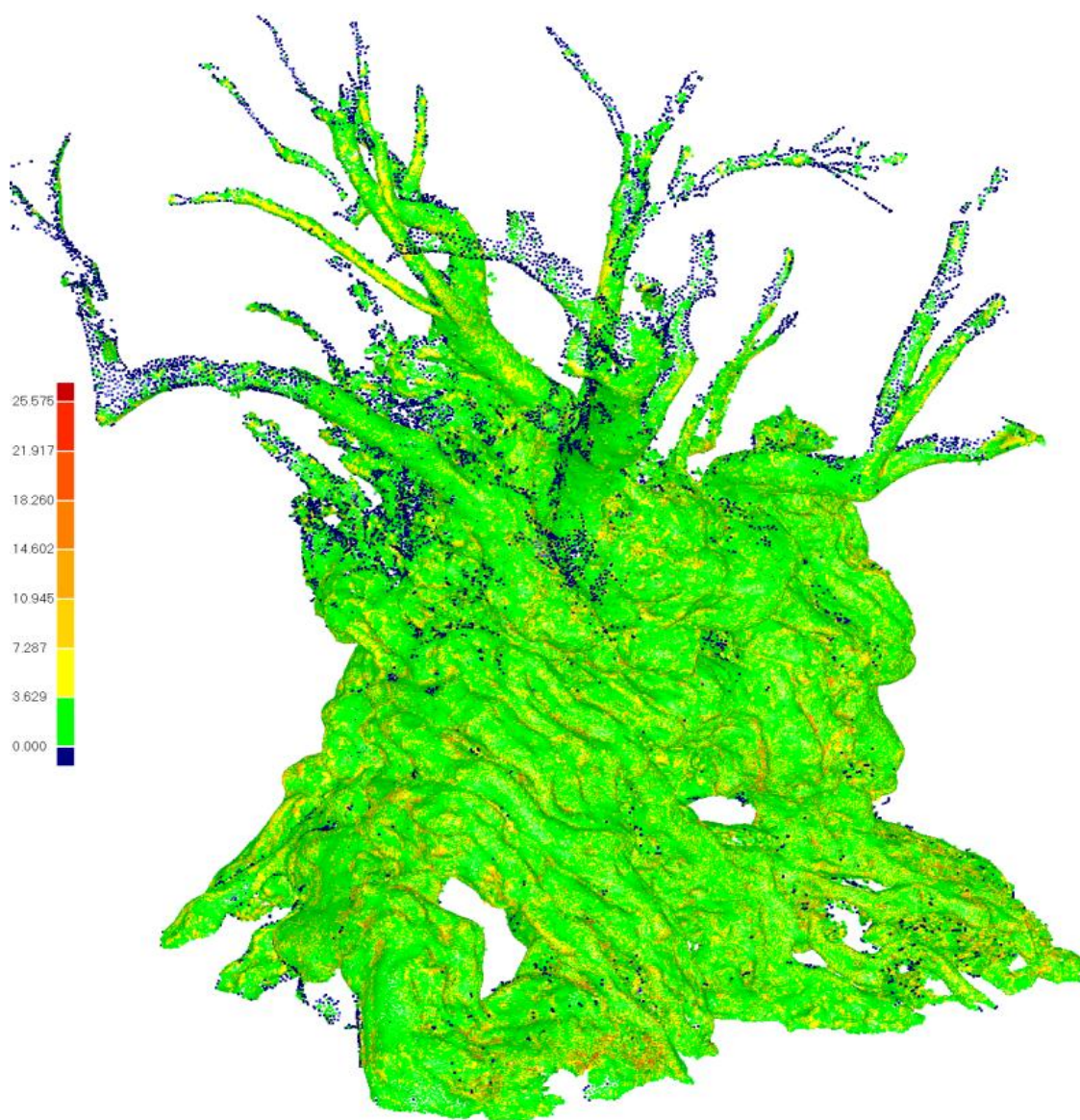
Σχήμα 3.29: Πίνακας αποτελεσμάτων της διαδικασίας Global Registration για την εσωτερική επιφάνεια



Σχήμα 3.30: Εφαρμογή εντολής Noise Reduction για την εσωτερική επιφάνεια



**Σχήμα 3.31: Εφαρμογή εντολής Noise Reduction για την εσωτερική επιφάνεια
(Χρωματική απεικόνιση των αποκλίσεων)**



Σχήμα 3.32: Εφαρμογή εντολής Noise Reduction για την εσωτερική επιφάνεια
(Εγχρωμη απεικόνιση των αποκλίσεων)

Μετά την τμηματική ενοποίηση των σαρώσεων σειρά είχε η ενοποίηση των δύο κύριων ομάδων, δημιουργώντας έτσι το συνδυασμένο νέφος σημείων. Η διαδικασία συνδυασμού της εξωτερικής όψης με την εσωτερική ήταν πιο απαιτητική από την ενοποίηση δύο όψεων της ίδιας επιφάνειας, καθώς υπήρχαν πολύ λιγότερα κοινά σημεία με βάση τα οποία θα γινόταν η καταχώρηση. Η ενοποίηση της εσωτερικής και της εξωτερικής όψης φαίνεται στο σχήμα 3.33.

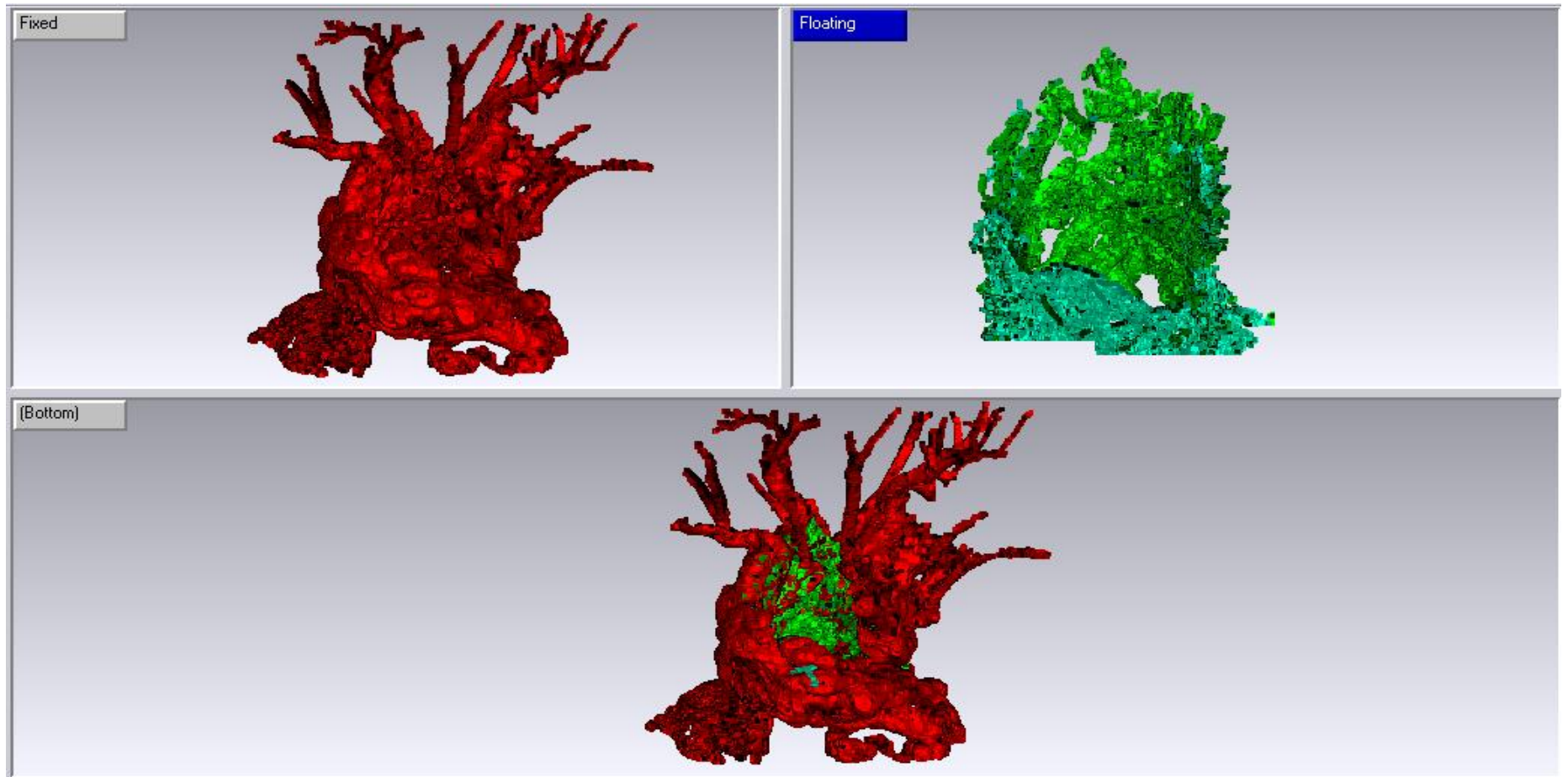
Εφόσον όλες οι όψεις έχουν καθαριστεί και έχουν ενωθεί μεταξύ τους είναι απαραίτητο να συγχωνευτούν (Merge Points). Πλέον, δηλαδή, δεν θα υπάρχει ένα πλήθος ενωμένων σαρώσεων, αλλά ένα ενιαίο νέφος σημείων.

Επειδή είναι πιθανό να ξέφυγαν στη φάση του καθαρισμού κάποια σημεία που να αποτελούν θόρυβο θα πρέπει να εφαρμοστεί η διαδικασία μείωσης θορύβου (Reduce Noise) στο ενοποιημένο νέφος σημείων. Οι ρυθμίσεις περιλαμβάνουν επιλογές όπως τον βαθμό μείωσης θορύβου (μικρή, μεσαία ή μεγάλη) καθώς και βελτίωση μέχρι ενός σημείου της ελεύθερης ή πρισματικής μορφής του μοντέλου. Γενικά επιλέγεται η ελεύθερη μορφή για οργανικά σχήματα, ενώ πρισματική μορφή για μηχανικά σχήματα, που έχουν αυστηρές γραμμές και γωνίες. Άλλες δυνατότητες της εντολής είναι ο καθορισμός της μέγιστης απομάκρυνσης των σημείων απ' το κύριο σώμα του μοντέλου, η επιλογή της αυτόματης διαγραφής των σημείων που επιλέγει το λογισμικό.

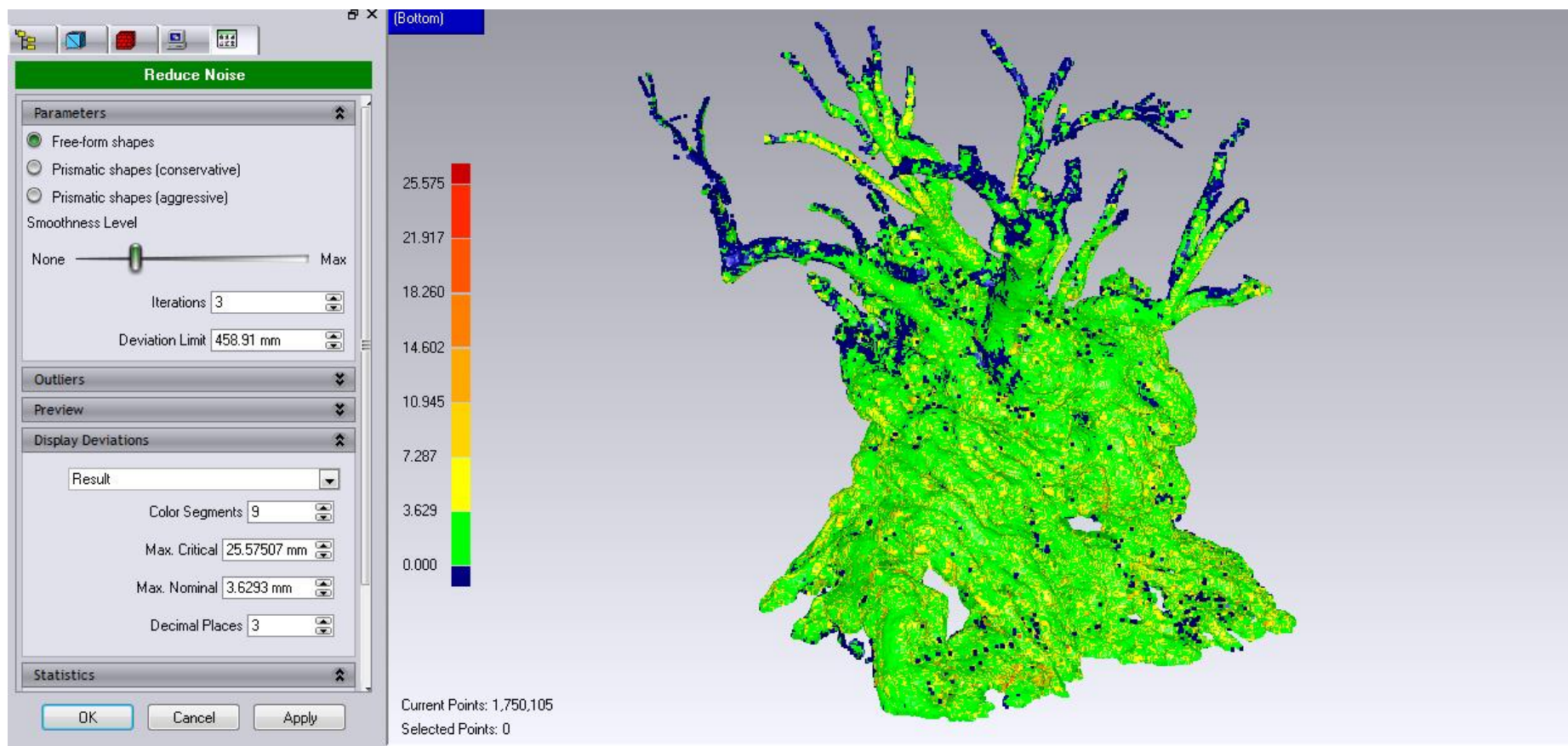
Για την περίπτωση αυτή επιλέχθηκε μικρή μείωση του θορύβου, καθώς κάτι περισσότερο θα απλοποιούσε τόσο το σχήμα της ελιάς που θα χανόταν λεπτομέρεια απ' την υφή του δέντρου.

Συνολικά το πλήθος των σημείων που αποτελούσαν την εσωτερική επιφάνεια της Ελιάς ήταν λίγο περισσότερα από έξι εκατομμύρια, ενώ την εξωτερική επιφάνεια όριζαν περίπου εννιά εκατομμύρια πεντακόσιες χιλιάδες σημεία. Αυτό σήμαινε ότι το αρχείο του ενοποιημένου νέφους σημείων είχε πολύ μεγάλο μέγεθος κάνοντας το δύσκολο στον χειρισμό. Για τον λόγο αυτό μειώθηκαν σε 1.750.000 σημεία, επιταχύνοντας έτσι τη γενικότερη διαδικασία. Αυτή η μείωση διευκολύνει και την επόμενη φάση επεξεργασίας, που είναι η δημιουργία του πολυγώνου.

Πολύ σημαντικό ρόλο στη διαδικασία ευθυγράμμισης των δεδομένων έπαιξαν οι εικόνες που συνέλαβε η ενσωματωμένη ψηφιακή κάμερα του σαρωτή ILRIS-3D, καθώς συνέβαλαν στην καλύτερη κατανόηση της θέσης κάθε σάρωσης πάνω στον κορμό της ελιάς.



Σχήμα 3.33: Ένωση εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας



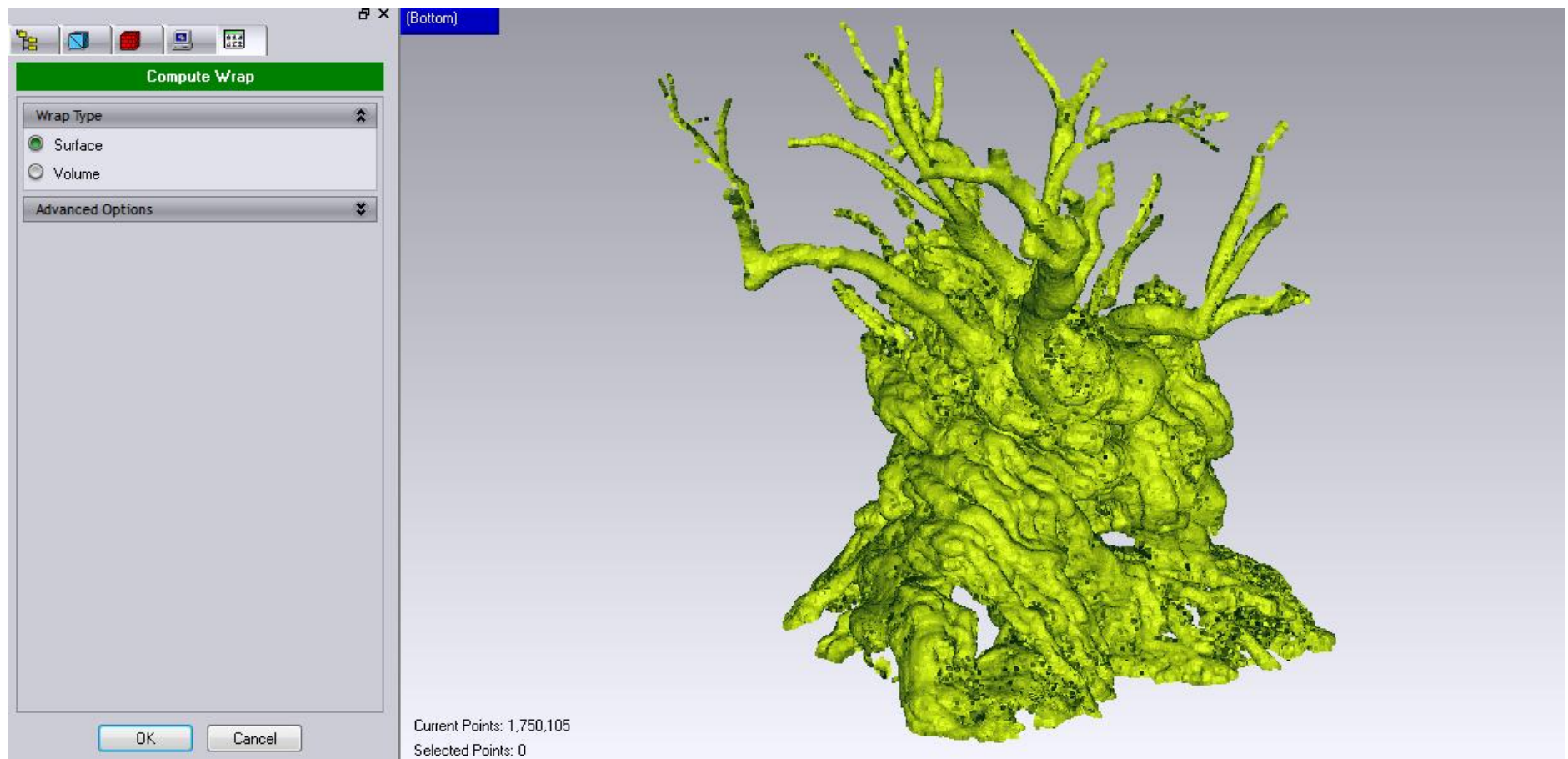
Σχήμα 3.34: Μείωση Θορύβου (Reduce Noise) στο Ενιαίο Νέφος Σημείων

3.4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΕ ΠΟΛΥΓΩΝΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ

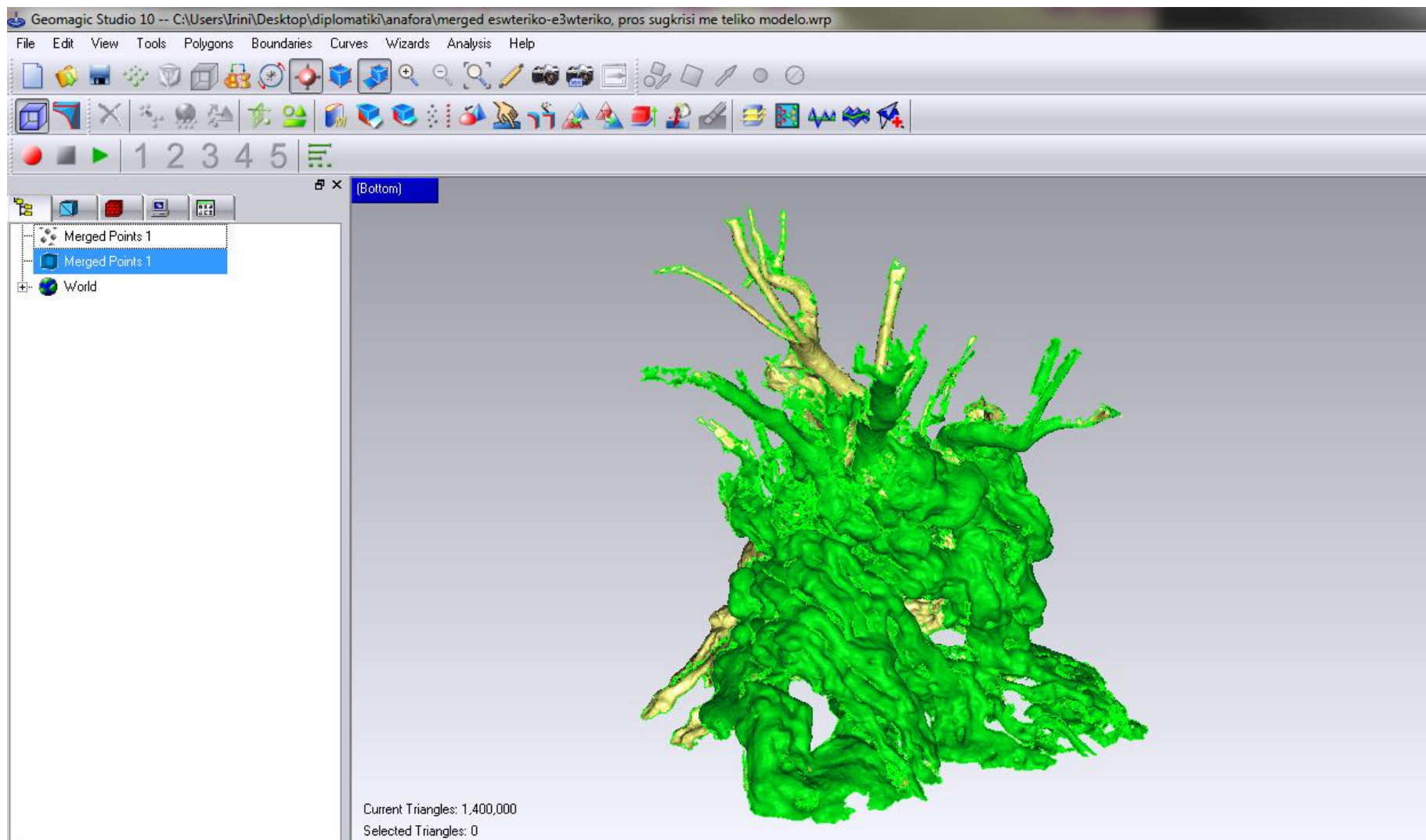
Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η δημιουργία και ο καθαρισμός του ολοκληρωμένου νέφους σημείων που σχηματίζει τον κορμό της ελιάς, η διαδικασία συνεχίζεται με τη μετατροπή των σημείων αυτών σε πολυγωνικό πλέγμα. Αυτό είναι ένα κρίσιμο βήμα της διαδικασίας της αντίστροφης σχεδίασης καθώς τα δεδομένα που μέχρι τώρα είχαν μορφή θάλασσας σημείων στον χώρο θα πρέπει συνδεθούν ανά τριάδες για να συνθέσουν μια επιφάνεια ίδια με αυτή του αρχικού μας μοντέλου. Επομένως σε αυτό το σημείο διαπιστώνεται και στην πράξη εάν η θέση κάθε σάρωσης η οποία καταχωρήθηκε κατά την ενοποίηση ήταν η σωστή.

Η εντολή για τη δημιουργία του πολυγωνικού πλέγματος λέγεται *Wrap*. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία υπάρχουν διάφορες ρυθμίσεις που προσδιορίζονται από τον χρήστη. Μια τέτοια ρύθμιση έχει να κάνει με τον τελικό αριθμό τριγώνων, που σε αυτή την περίπτωση επιλέχθηκε να είναι ένα εκατομμύριο. Να τονίσουμε πως όσο μεγαλύτερο το πλήθος των τριγώνων του πλέγματος, τόσο πιο λεπτομερής η επιφάνειας και καλύτερη η ποιότητα του τελικού μοντέλου. Έτσι λοιπόν, με το ένα εκατομμύριο τρίγωνα το αποτέλεσμα ήταν καλή ποιότητα επιφάνειας που αποκάλυπτε την πολυπλοκότητα του σχήματος του κορμού του δέντρου.

Μια άλλη απόφαση που καλείται να πάρει ο χρήστης είναι εάν θα διατηρηθεί το νέφος σημείων μετά τη δημιουργία του πολυγωνικού πλέγματος ή αν θα διαγραφεί. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχτηκε να διατηρηθούν τα αρχικά δεδομένα, καθώς θα χρησιμεύσουν παρακάτω όταν θα γίνει η σύγκριση του επεξεργασμένου πλέγματος με την αρχική του μορφή.



Σχήμα 3.35: Μετατροπή σε Πολυγωνικό Πλέγμα (Wrap)



Σχήμα 3.36: Μετατροπή σε Πολυγωνικό Πλέγμα (Wrap)

3.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΟΛΥΓΩΝΙΚΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

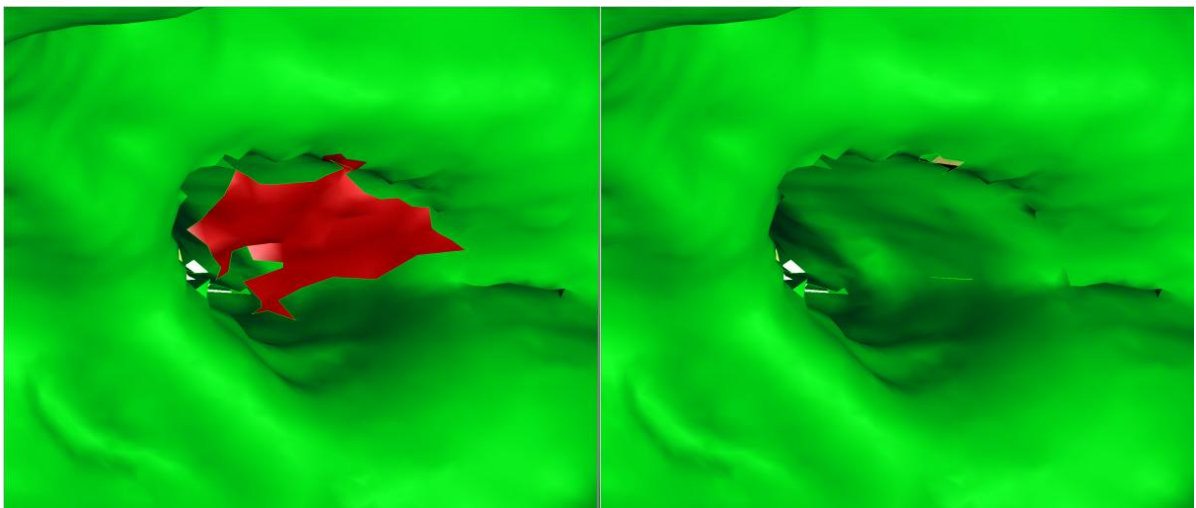
Α. ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΠΟΛΥΓΩΝΙΚΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Κατά τη δημιουργία του πολυγωνικού πλέγματος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα σημεία σχηματίζουν τα τρίγωνα που τελικά απαρτίζουν την επιφάνεια. Αυτό σημαίνει ότι πιθανές ατέλειες του νέφους σημείων καθώς και περιττά σημεία τα οποία δεν έχουν διαγραφεί προηγουμένως γίνονται μέρος της νέας επιφάνειας.

Οι ατέλειες αυτές του πολυγωνικού πλέγματος μπορούν να πάρουν διάφορες μορφές, όπως είναι τρίγωνα που δεν ενώνονται με κανένα άλλο τρίγωνο. Ακόμα ατέλεια θεωρείται όταν κομμάτι επιφάνειας που βρίσκεται πίσω από την κανονική επιφάνεια ή όταν το πλέγμα είναι πολύ ανώμαλο.

Για να αποφύγουμε τα μικρότερα τρίγωνα που δεν ενώνονται με το υπόλοιπο πλέγμα χρησιμοποιείται η εντολή *Open Manifold*. Επειδή τα συγκεκριμένα τρίγωνα είναι πολύ μικρά δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη αλλαγή στο μοντέλο. Είναι πολύ χρήσιμη εντολή όμως και ουσιώδες το αποτέλεσμα, καθώς η εναλλακτική θα ήταν να διαγραφεί το κάθε τρίγωνο ξεχωριστά χειροκίνητα.

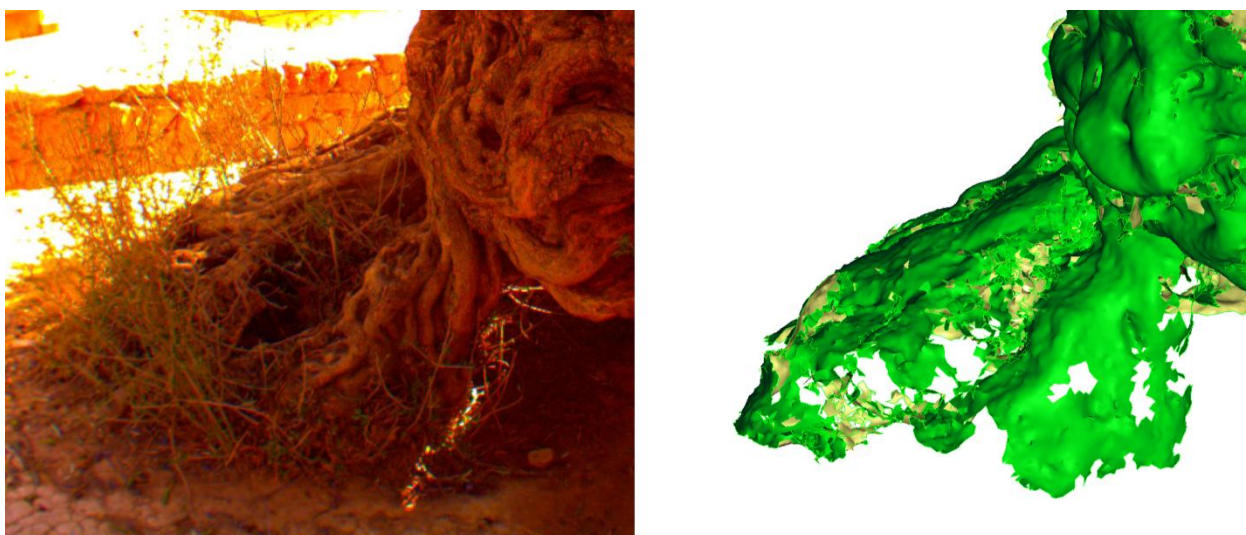
Η περίπτωση να υπάρχει κομμάτι πλέγματος μέσα από την κανονική επιφάνεια οφείλεται στη λάθος ευθυγράμμιση δύο επιφανειών. Προφανώς μιλάμε για μικρή απόκλιση, η οποία δεν προκαλεί προβλήματα στο μοντέλο. Όπως έχει αναφερθεί μπορεί να υπάρχουν παραπάνω από μία σαρώσεις η οποία να αποτυπώνουν το ίδιο κομμάτι του κορμού. Αυτό σημαίνει ότι εάν όλες αυτές οι επιφάνειες δεν είναι τέλεια ευθυγραμμισμένες, κατά τη δημιουργία του πλέγματος ίσως εμφανιστούν παραπάνω από μία αναπαράσταση του ίδιου κομματιού του αρχικού μοντέλου.



Σχήμα 3.37: Αλληλεπικαλυπτόμενες Επιφάνειες

Ακριβώς επειδή η ταύτιση των σαρώσεων είναι αντικειμενικά πολύ δύσκολο να επιτευχθεί δεν είναι ασυνήθιστη αυτή η κατάσταση, η οποία αντιμετωπίζεται με την χειροκίνητη διαγραφή του περιττού τμήματος του πολυγωνικού πλέγματος.

Ο τρίτος τύπος ατελειών οφείλεται στον θόρυβο γύρω απ'το μοντέλο που δεν έχει απομακρυνθεί. Στην περίπτωση της Ελιάς Βουβών παρατηρήθηκε αυτού του είδους πρόβλημα κυρίως στις ρίζες και στα κλαδιά, όπου το φύλλωμα του δέντρου και τα χορτάρια στο έδαφος βρίσκονταν ανάμεσα στον σαρωτή και στο μοντέλο δημιουργώντας, έτσι, τυφλά σημεία. Αντί για να έχουμε, λοιπόν, απεικόνιση του μοντέλου στα σημεία αυτά, υπάρχουν είτε κενά στην επιφάνεια είτε παραπληνής τριγώνια τα οποία δεν συμβάλλουν σε κάποιο ιδιαίτερο σχηματισμό. Αυτό μπορεί να φανεί στο σχήμα 3.38, όπου είναι εμφανείς και οι οπές καθώς και η ακανόνιστη μορφή της επιφάνειας.



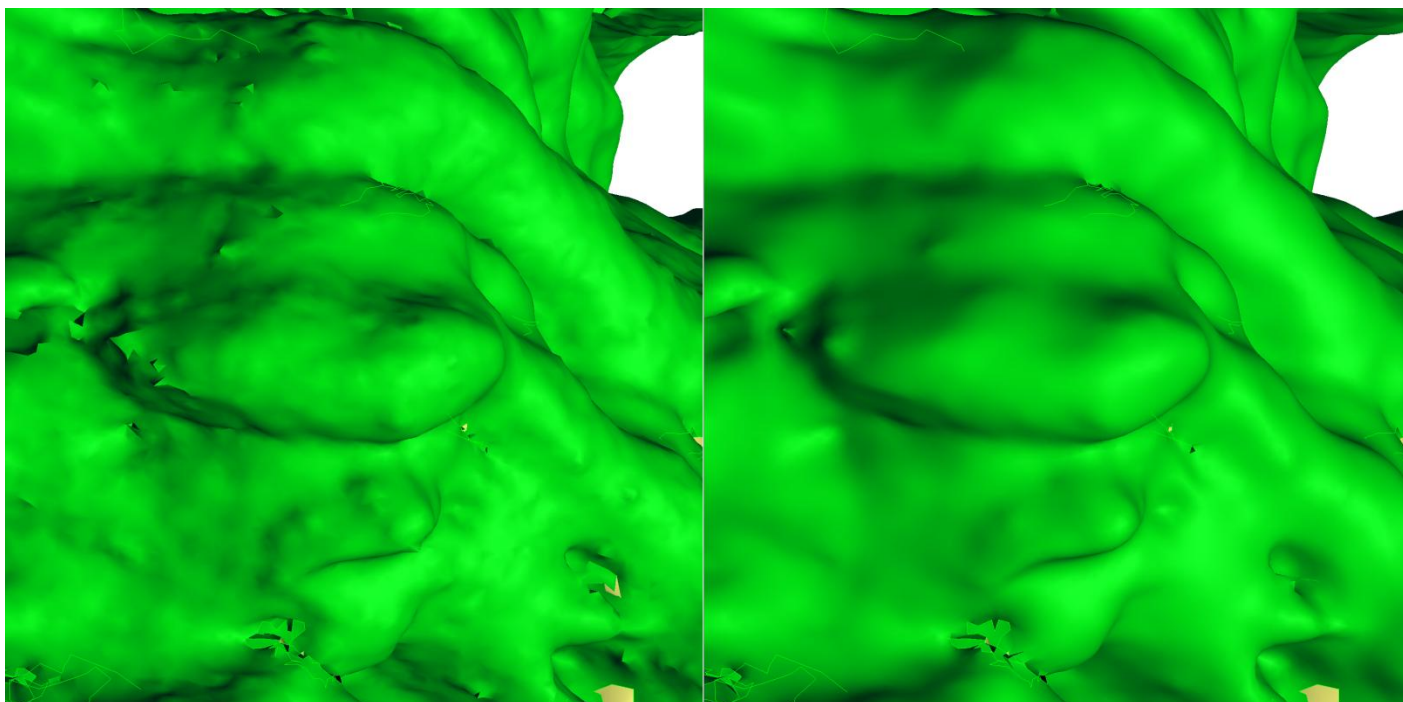
Σχήμα 3.38: Ατέλειες λόγω μειωμένης ορατότητας

Για την αντιμετώπιση της τελευταίας περίπτωσης ατελειών προσφέρονται διάφορες εντολές από το λογισμικό.

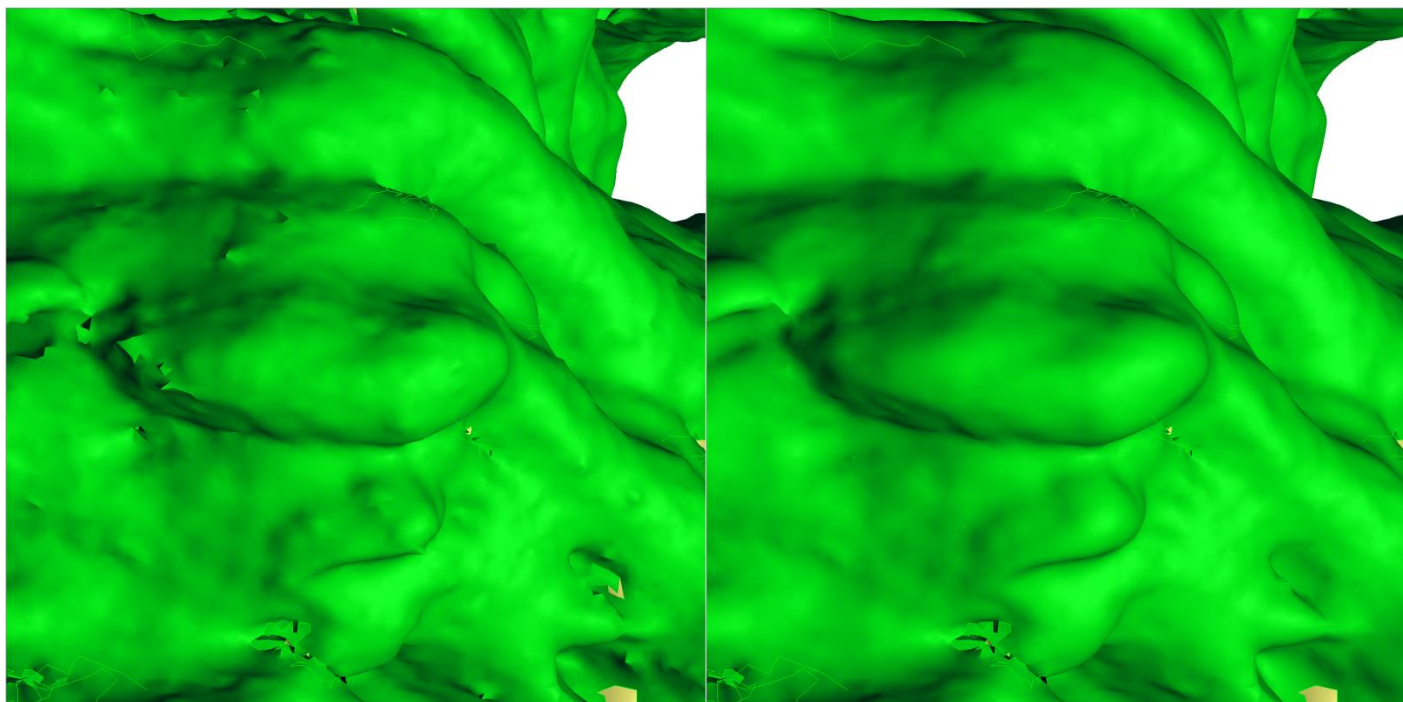
Αρχικά πραγματοποιείται ο καθαρισμός της επιφάνειας του κορμού με την εντολή Clean. Η συγκεκριμένη εντολή βελτιώνει γενικά την ποιότητα της επιφάνειας είτε αλλάζοντας τον προσανατολισμό των τριγώνων, είτε εξομαλύνοντας την επιφάνεια με την εξάλειψη αιχμών, εξογκωμάτων ή βαθουλωμάτων.

Η εντολή αφαίρεσης αιχμών (Remove Spikes) ξανά ομαλοποιεί το πολυγωνικό πλέγμα επικεντρώνοντας όμως τις ενέργειες μόνο στα τρίγωνα τα οποία προεξέχουν δημιουργώντας άγρια όψη.

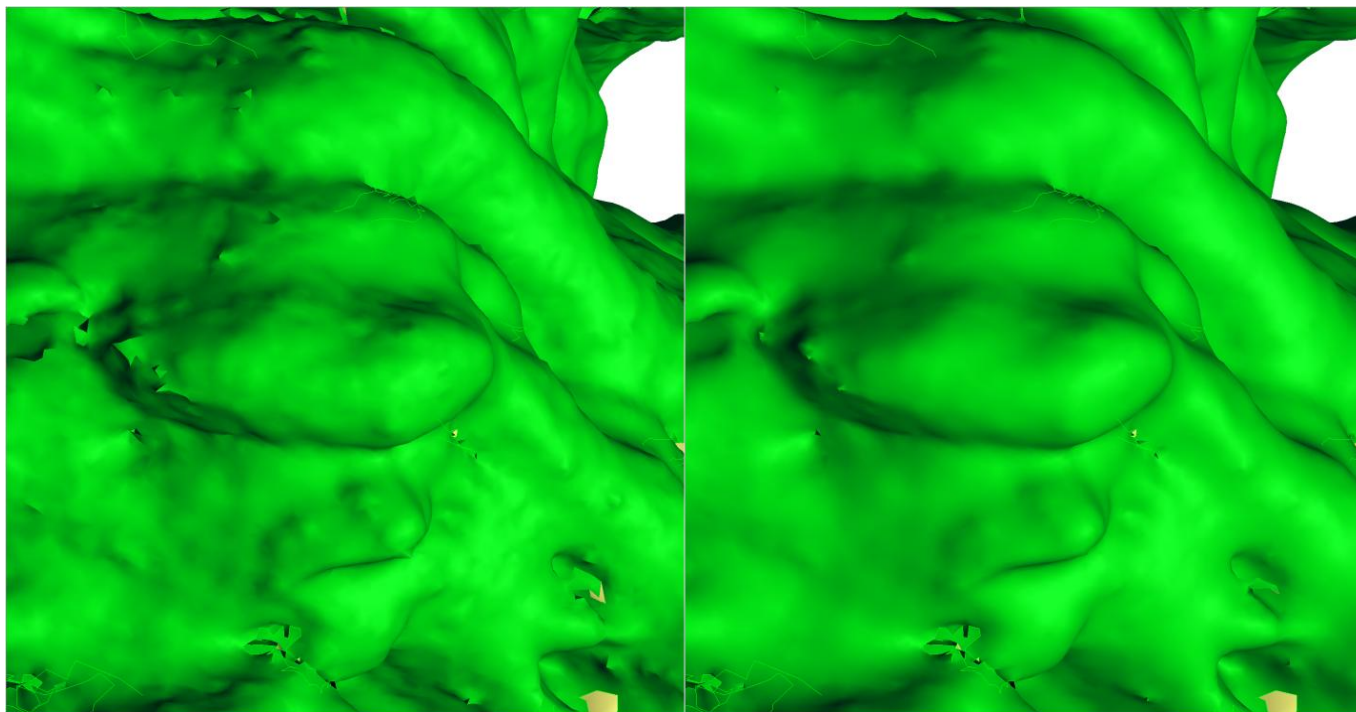
Παρόμοια λειτουργία με αυτή της αφαίρεσης αιχμών (Remove Spikes) έχουν και οι εντολές «χαλάρωση» (Relax) και «γυαλόχαρτο» (Sandpaper). Οι εντολές χαλάρωσης και λείανσης με γυαλόχαρτο μπορούν να εφαρμοστούν σε όλο το μοντέλο ή σε συγκεκριμένη περιοχή που θα έχει προσδιοριστεί από τον χρήστη. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτών των εντολών.



Σχήμα 3.39: Εφαρμογή εντολής καθαρισμού (Clean)



Σχήμα 3.40: Εφαρμογή εντολής αφαίρεση αιχμών (Remove Spikes)



Σχήμα 3.41: Εφαρμογή εντολής χαλάρωσης (Relax)

B. ΚΑΛΥΨΗ ΚΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

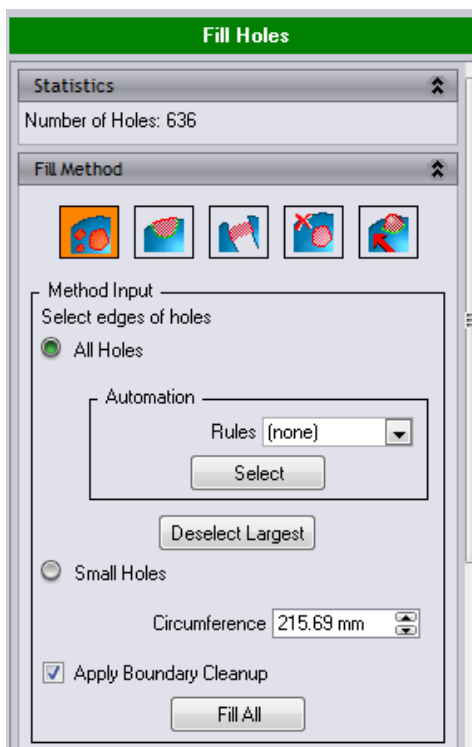
Με την ολοκλήρωση του καθαρισμού της επιφάνειας ακολουθεί η διαδικασία κάλυψης των οπών που έχουν εμφανιστεί αρχικά με τη δημιουργία του πολυγωνικού πλέγματος και πιθανώς με τη διαδικασία του καθαρισμού της επιφάνειας (π.χ. σε περιπτώσεις αλληλοεπικαλύψεις επιφανειών). Υπάρχει συγκεκριμένη εντολή του λογισμικού Geomagic που εκτελεί ακριβώς αυτή τη λειτουργία.

Επιλέγοντας την εντολή Fill Holes εμφανίζεται καταρχήν το πλήθος των κενών που πρέπει να καλυφθεί. Το μέγεθος των κενών μπορεί να κυμαίνεται από πολύ μικρό έως και πολύ μεγάλο, για παράδειγμα να λείπει μεγάλο κομμάτι της επιφάνειας. Ένας βασικός λόγος που μπορεί να είναι μεγάλο το κενό είναι είτε λόγω προβληματικής αποτύπωσης των δεδομένων από την αρχή, είτε λόγω παρεμπόδισης της σάρωσης εξαιτίας των τοπολογικών περιορισμών ή οπτικών εμποδίων, όπως συνέβη και στη συγκεκριμένη περίπτωση.

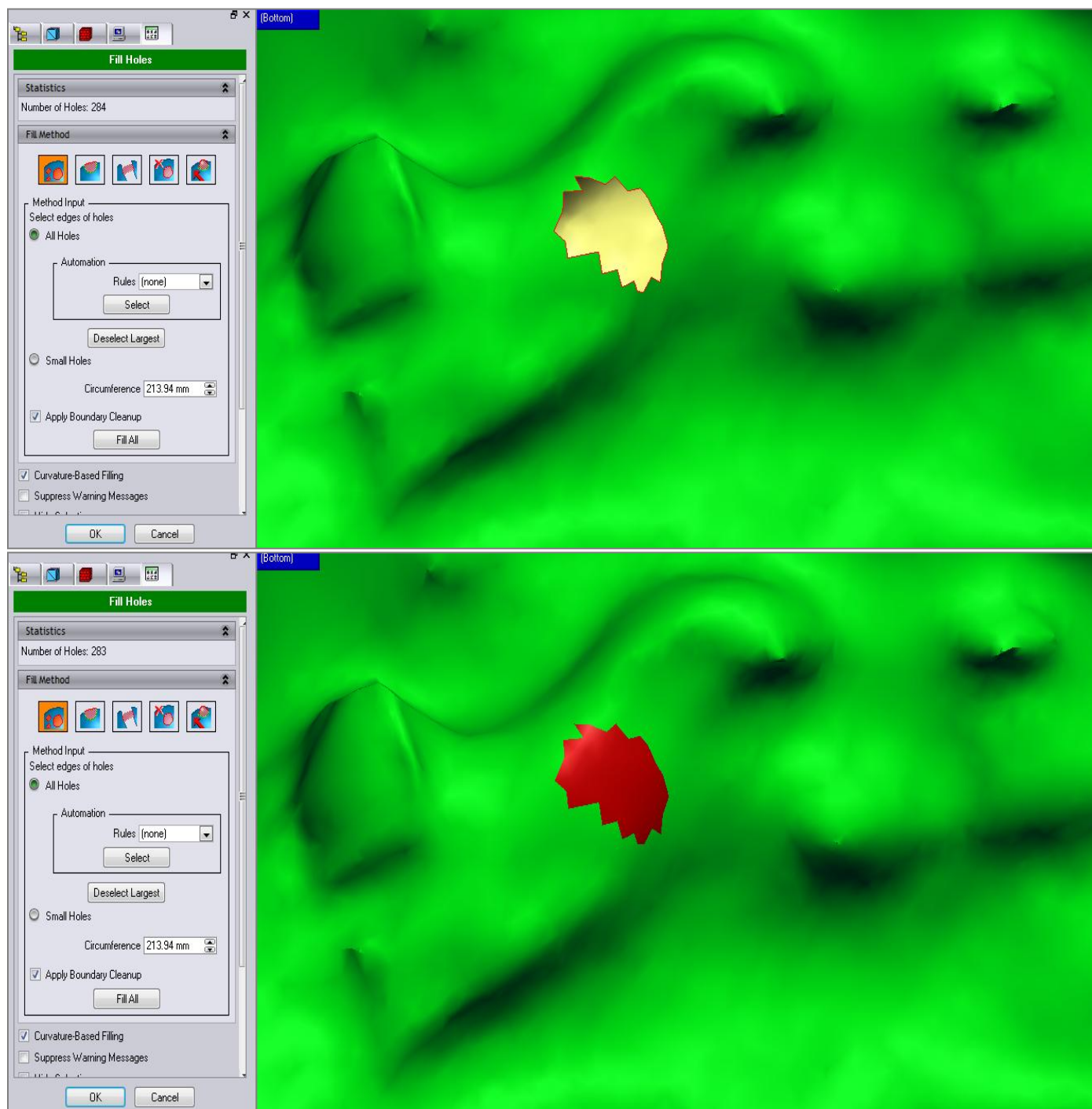
Όπως φαίνεται οι τρύπες που έπρεπε να καλυφθούν ήταν 636. Ακριβώς από κάτω φαίνονται οι πέντε επιλογές ως προς τις μεθοδολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να καλυφθούν οι τρύπες. Από τα αριστερά προς τα δεξιά οι επιλογές είναι: αυτόματο κλείσιμο οπής, κλείσιμο οπής μεταξύ ορίων, δημιουργία γέφυρας μεταξύ δύο άκρων, διαγραφή τριγώνων του πολυγωνικού πλέγματος και μετακίνηση ή έκταση πρόσφατα τοποθετημένων τριγώνων. Οι τέσσερις πρώτες χρησιμοποιήθηκαν για να καλυφθούν οι οπές του μοντέλου της Ελιάς Βουβών.

Υπάρχει η επιλογή να καλυφθούν όλες οι τρύπες αυτόματα από το λογισμικό, αντί να γίνει επεξεργασία κάθε τρύπας ξεχωριστά από τον χρήστη επιλέγοντας κάθε φορά τη βέλτιστη μεθοδολογία από τον χρήστη. Η επιλογή αυτή όμως υπάρχει περίπτωση να μην αποφέρει καλά αποτελέσματα, αφού κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας ο χρήστης δεν έχει δυνατότητα να επέμβει. Επομένως το σταδιακό γέμισμα των οπών είναι προτιμότερο για καλά αποτελέσματα, ακόμα και αν είναι πιο χρονοβόρα η διαδικασία.

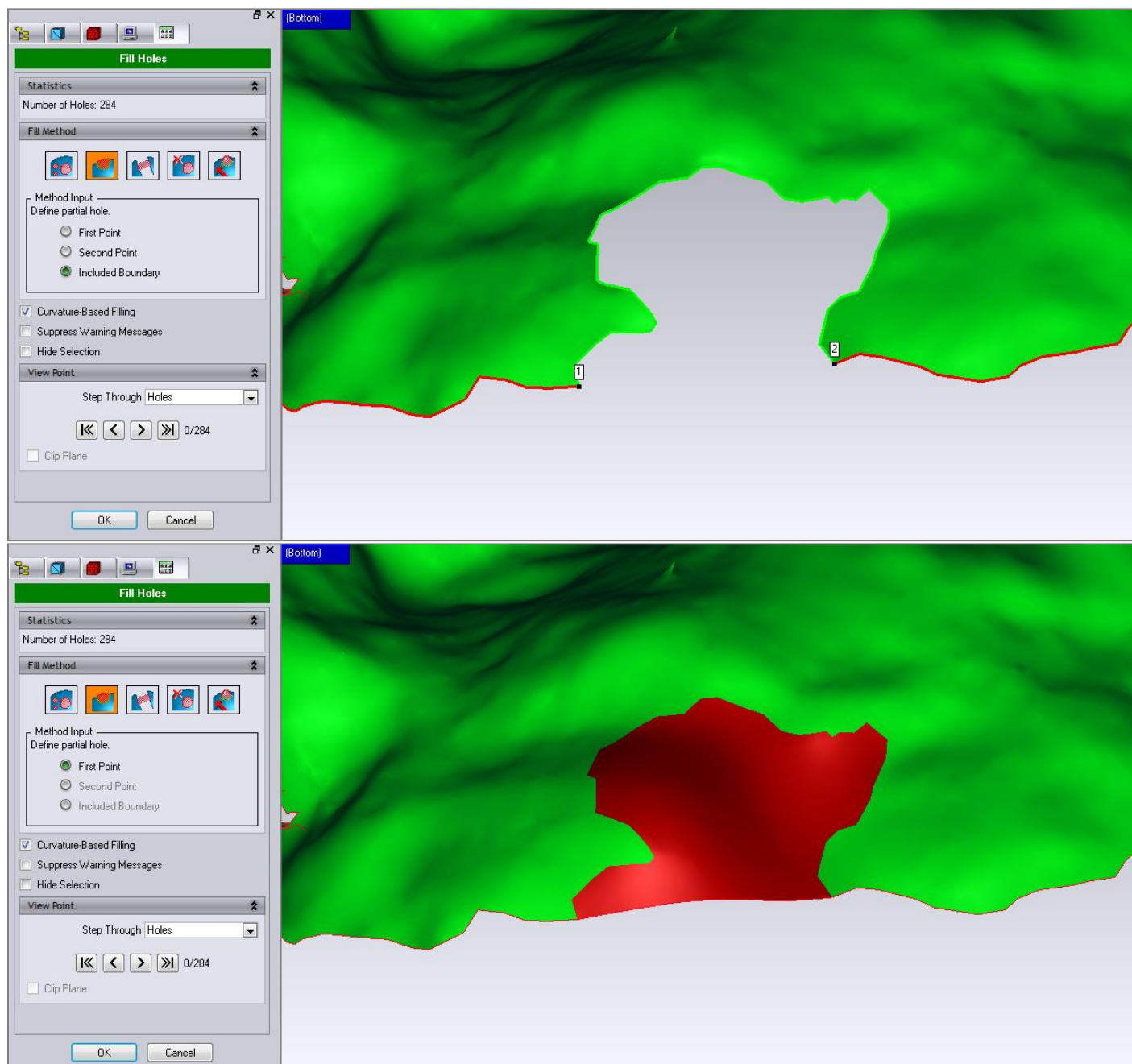
Παρακάτω παρουσιάζονται παραδείγματα επεξεργασίας των οπών με τις διάφορες μεθοδολογίες.



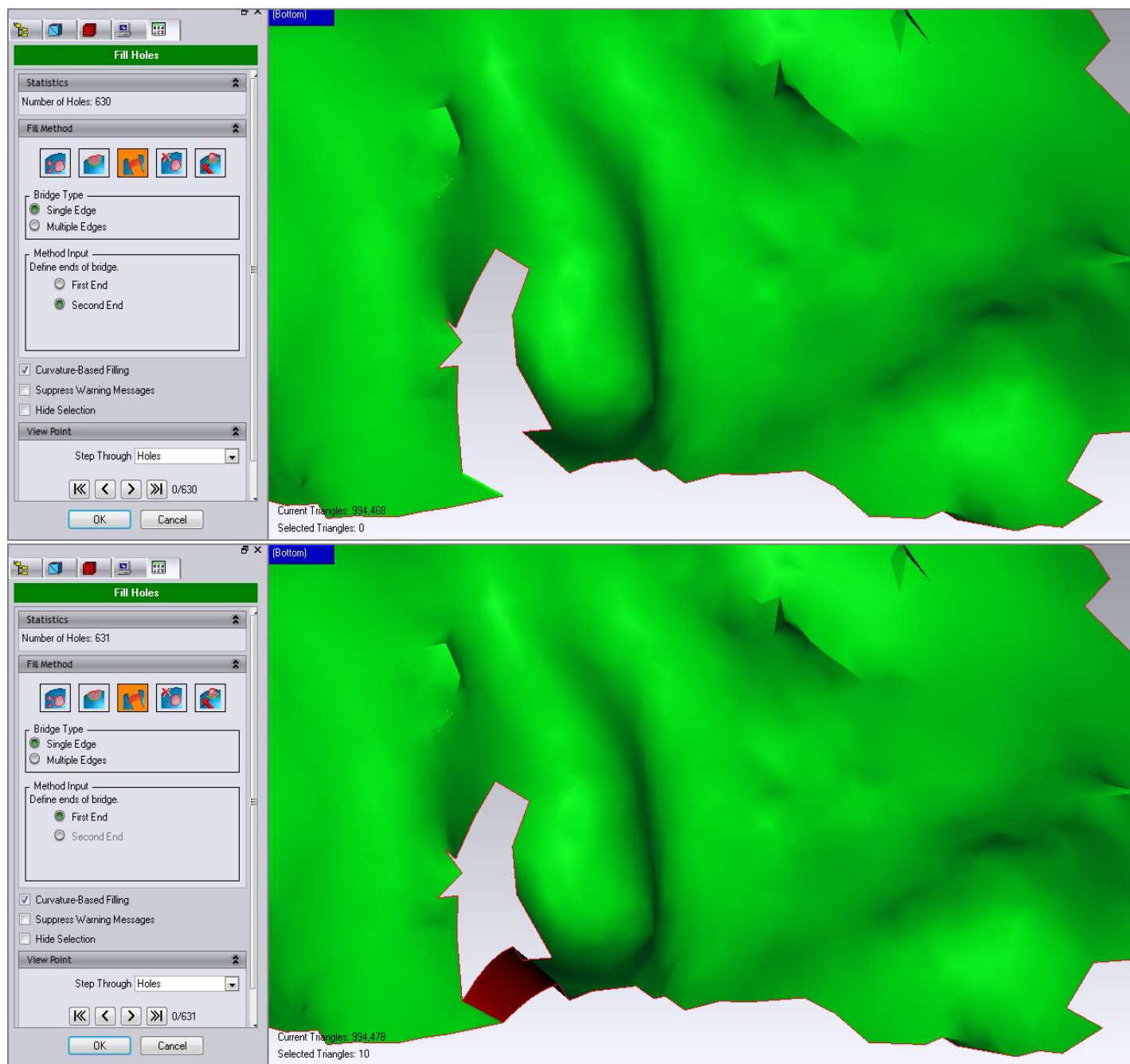
Σχήμα 3.42: Μενού εντολής κάλυψης οπών



Σχήμα 3.43: Αυτόματη κάλυψη οπής (το μπάλωμα έχει κόκκινο χρώμα)



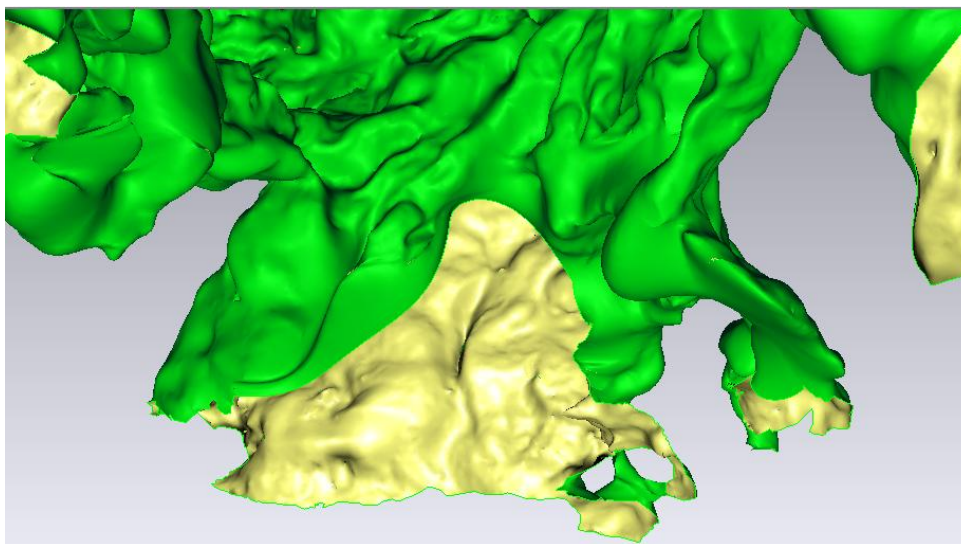
Σχήμα 3.44: Κάλυψη οπής μεταξύ ορίων (το μπάλωμα θα γίνει ανάμεσα στα όρια της πράσινης γραμμής που ορίζεται απ'τα σημεία 1 και 2)



Σχήμα 3.45: Κάλυψη οπής με τη δημιουργία γέφυρας μεταξύ δύο άκρων

Λόγω της ιδιαιτερότητας του σχήματος, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, υπήρχαν ορισμένα «τυφλά» σημεία, τμήματα δηλαδή του κορμού που δεν ήταν δυνατόν να σαρωθούν. Τέτοιου είδους προβλήματα εμφανίστηκαν κυρίως στο εσωτερικό της ελιάς στην περιοχή των ριζών, καθώς και τμήματα κλαδιών που ήταν καλυμμένα από το φύλλωμα της ελιάς.

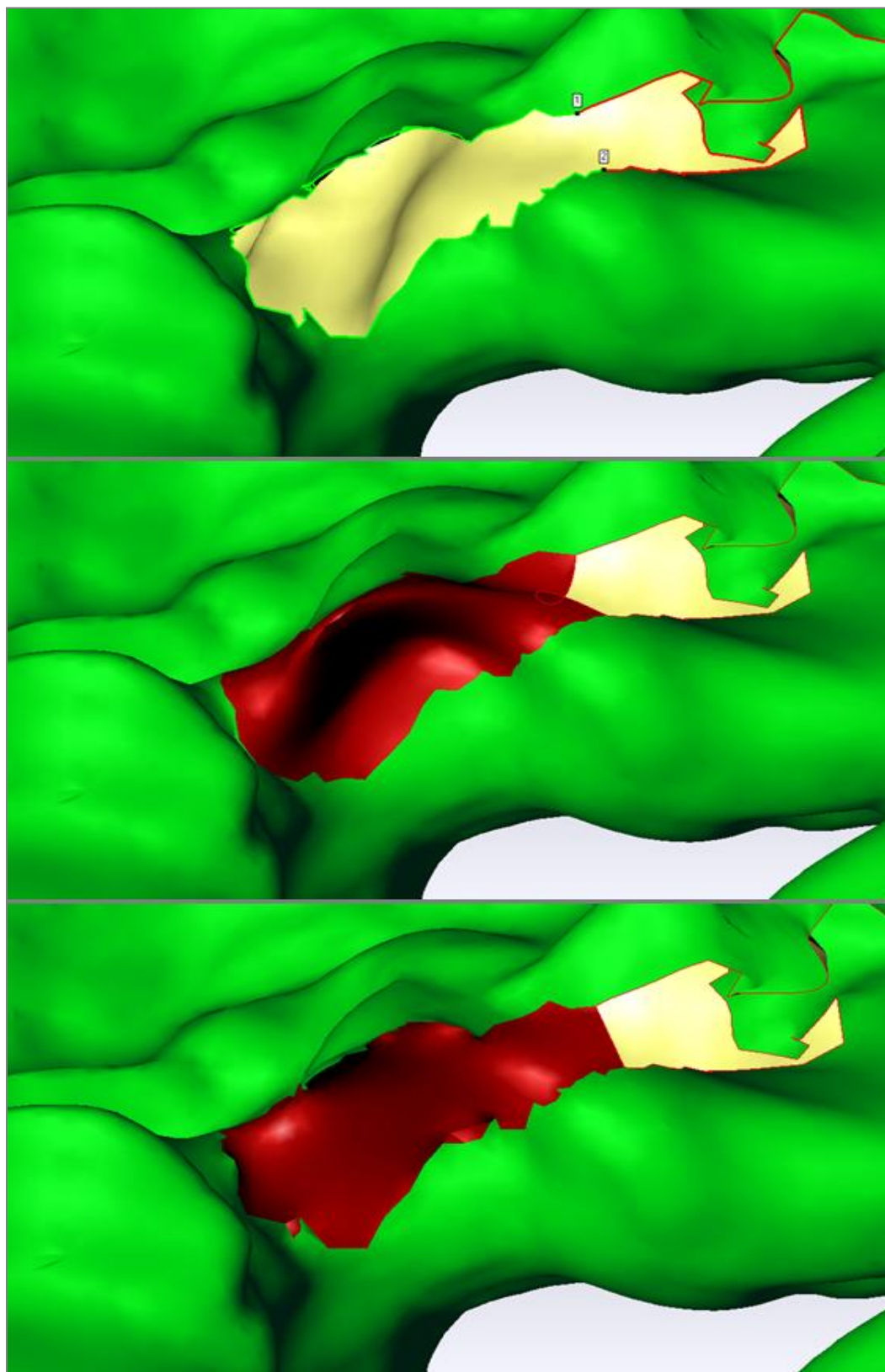
Λόγω, λοιπόν, της κακής ορατότητα στα σημεία αυτά έπρεπε να γίνουν κάποιες παραδοχές για το σχήμα, οι οποίες βασίστηκαν αφενός στην καμπυλότητα της γύρω επιφάνειας και αφετέρου στις φωτογραφίες που είχαν ληφθεί από τον σαρωτή. Με αυτόν τον τρόπο προσομοιώθηκε σε πολύ καλό βαθμό το σχήμα της ελιάς.



Σχήμα 3.46: «Τυφλό» σημείο στο εσωτερικό της Ελιάς Βουβών κοντά στις ρίζες

Κατά τη διάρκεια κάλυψης των τρυπών υπήρχε η δυνατότητα να επιλέξει ο χρήστης αν θέλει το μπάλωμα που θα δημιουργηθεί να είναι σύμφωνό με την καμπυλότητα της οπής ή αν το μπάλωμα θα είναι επίπεδο. Παράδειγμα εφαρμογής και των δύο περιπτώσεων φαίνεται παρακάτω, στο σχήμα 3.47. Γενικά προτιμήθηκε να γίνει συμπλήρωση των κενών με μπάλωμα βασισμένο στην καμπυλότητα της επιφάνειας.

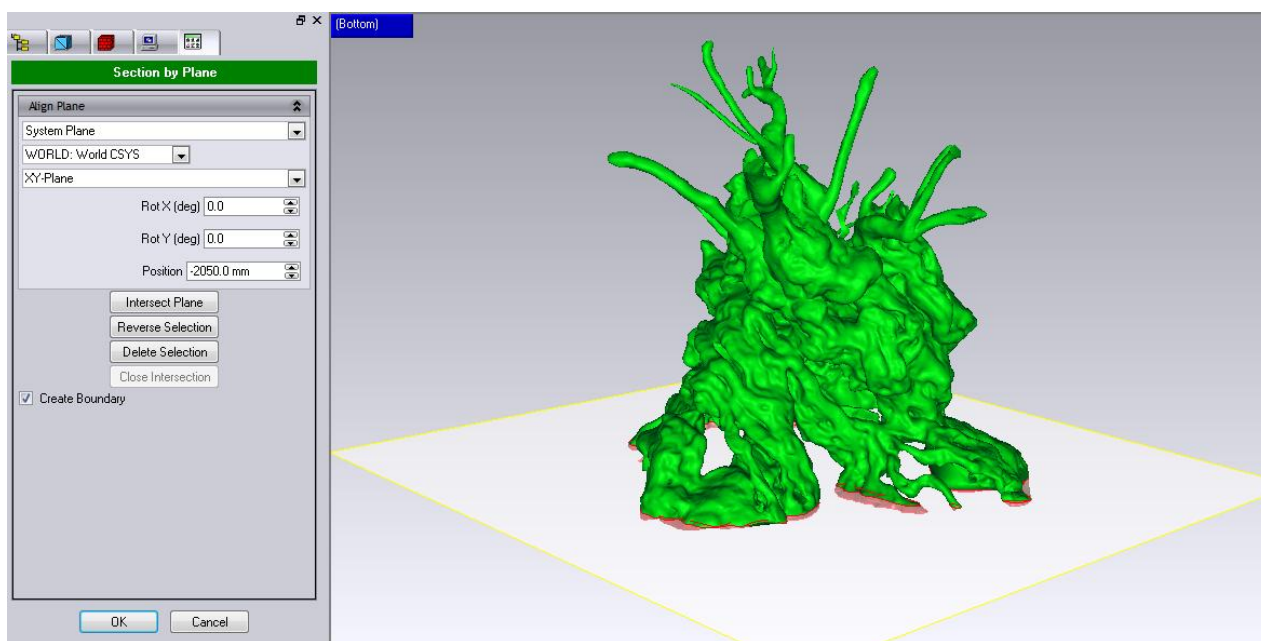
Μία σημαντική λειτουργία που διαδέχεται τη διαδικασία κλεισίματος των οπών είναι ο έλεγχος για τρίγωνα του πολυγωνικού πλέγματος ή ολόκληρα κομμάτια επιφανειών τα οποία να περνάνε το ένα μέσα απ'το άλλο. (Repair Intersection) Η εντολή αυτή ουσιαστικά εντοπίζει όλες τις προβληματικές περιπτώσεις και στη συνέχεια τις μαρκάρει με κόκκινο χρώμα για να διορθωθούν από τον χρήστη. Η διόρθωση περιλαμβάνει τη διαγραφή των τριγώνων στην περιοχή αυτή και κάλυψη της οπής εκ νέου. Ο χρήστης έχει να διαλέξει ανάμεσα σε χειροκίνητη ή αυτόματη διόρθωση του προβλήματος. Ακριβώς όμως όπως και στην προηγούμενη περίπτωση κάλυψης των οπών, η αυτόματη διόρθωση μπορεί να έχει άσχημα αποτελέσματα, επομένως ξανά προτιμάται η χειροκίνητη αντιμετώπιση.



Σχήμα 3.47: Κάλυψη οπής (πρώτη εικόνα) με curvature based filling (δεύτερη εικόνα) και flat filling (τελευταία εικόνα)

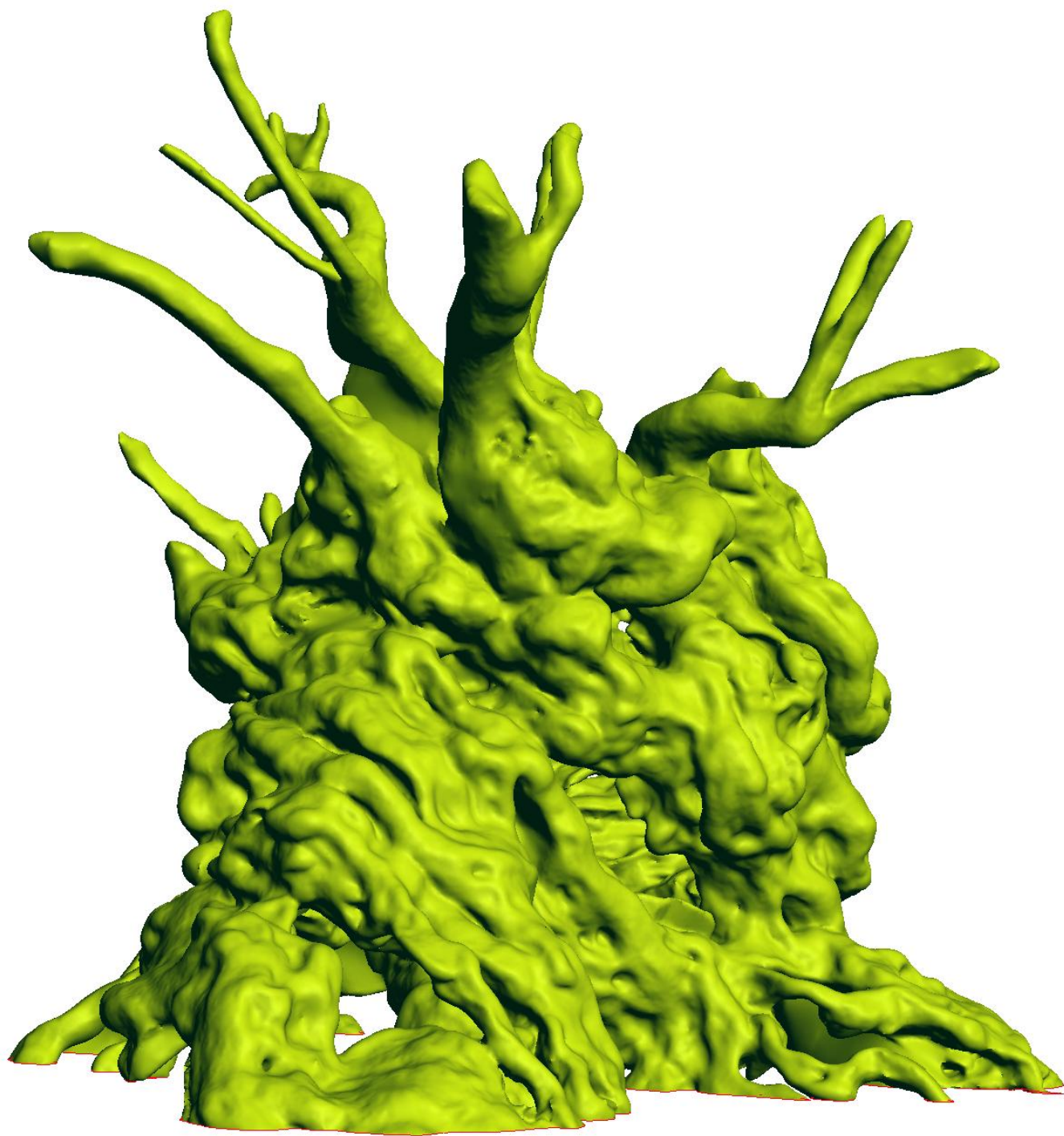
Όπως είναι φυσικό, το κάτω μέρος των της βάσης του δέντρου δεν ήταν εμφανές. Προκειμένου το αποτέλεσμα να είναι αισθητικά καλό, προτιμήθηκε η βάση του μοντέλου να είναι επίπεδη. Προφανώς όμως το σύνολο του μοντέλου της ελιάς δεν βρισκόταν σε ένα κοινό οριζόντιο επίπεδο. Προκειμένου να επιτευχθεί μια επίπεδη, οριζόντια βάση χρησιμοποιήθηκε η εντολή Section by Plane.

Όπως φαίνεται και παρακάτω επιλέχθηκε ένα ύψος το οποίο να συμπεριλαμβάνει όλα τα μέρη της βάσης. Στη συνέχεια επιλέχθηκε να γίνει η τομή του μοντέλου σε εκείνο το ύψος (Intersect Plane) και να διαγραφούν τα σημεία από εκεί και κάτω (Delete Selection).

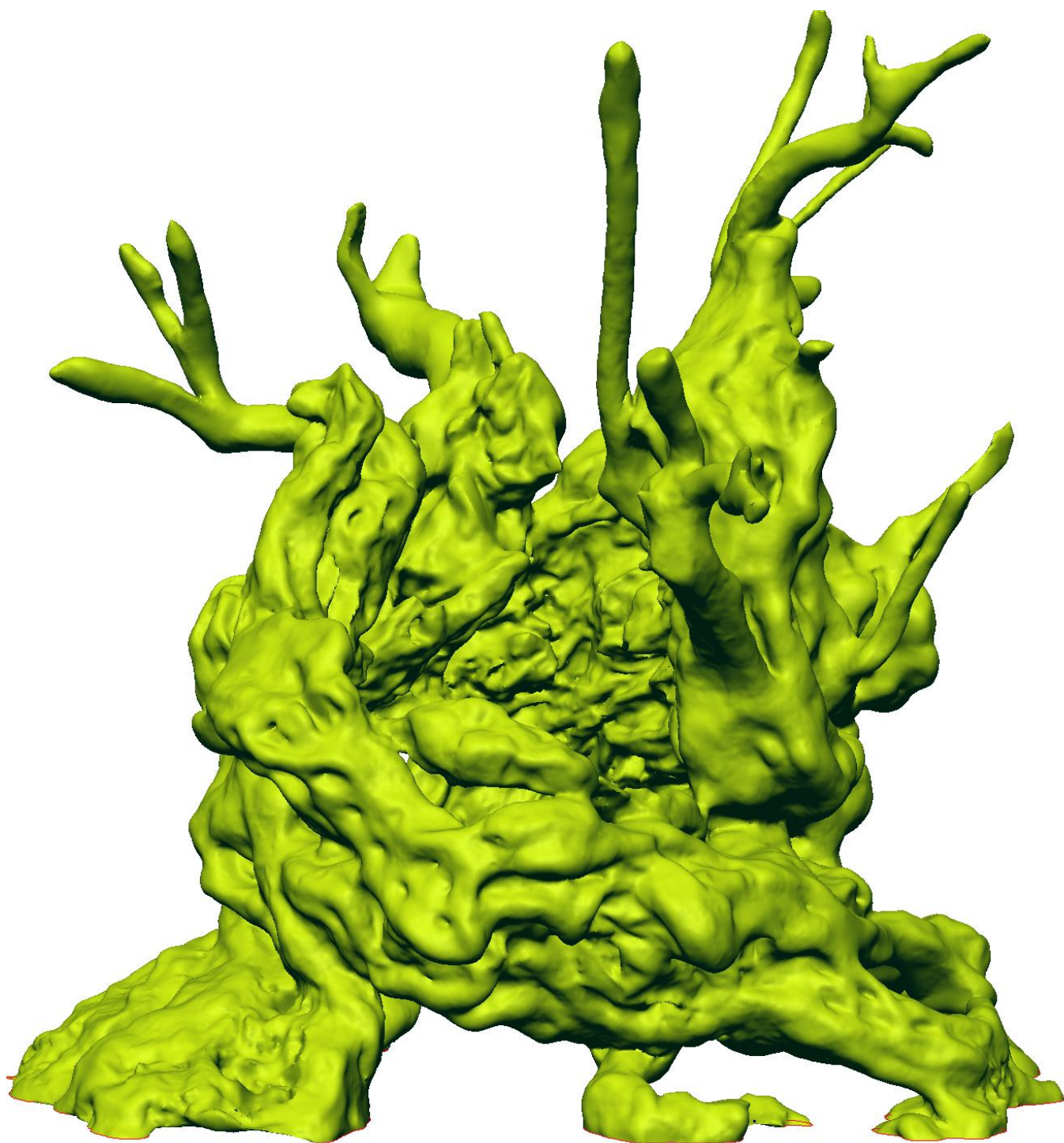


Σχήμα 3.48: Εφαρμογή εντολής Section by Plane

Ο τελικός αριθμός τριγώνων ήταν λίγο παραπάνω από ένα εκατομμύριο διακόσιες χιλιάδες (1.213.798).



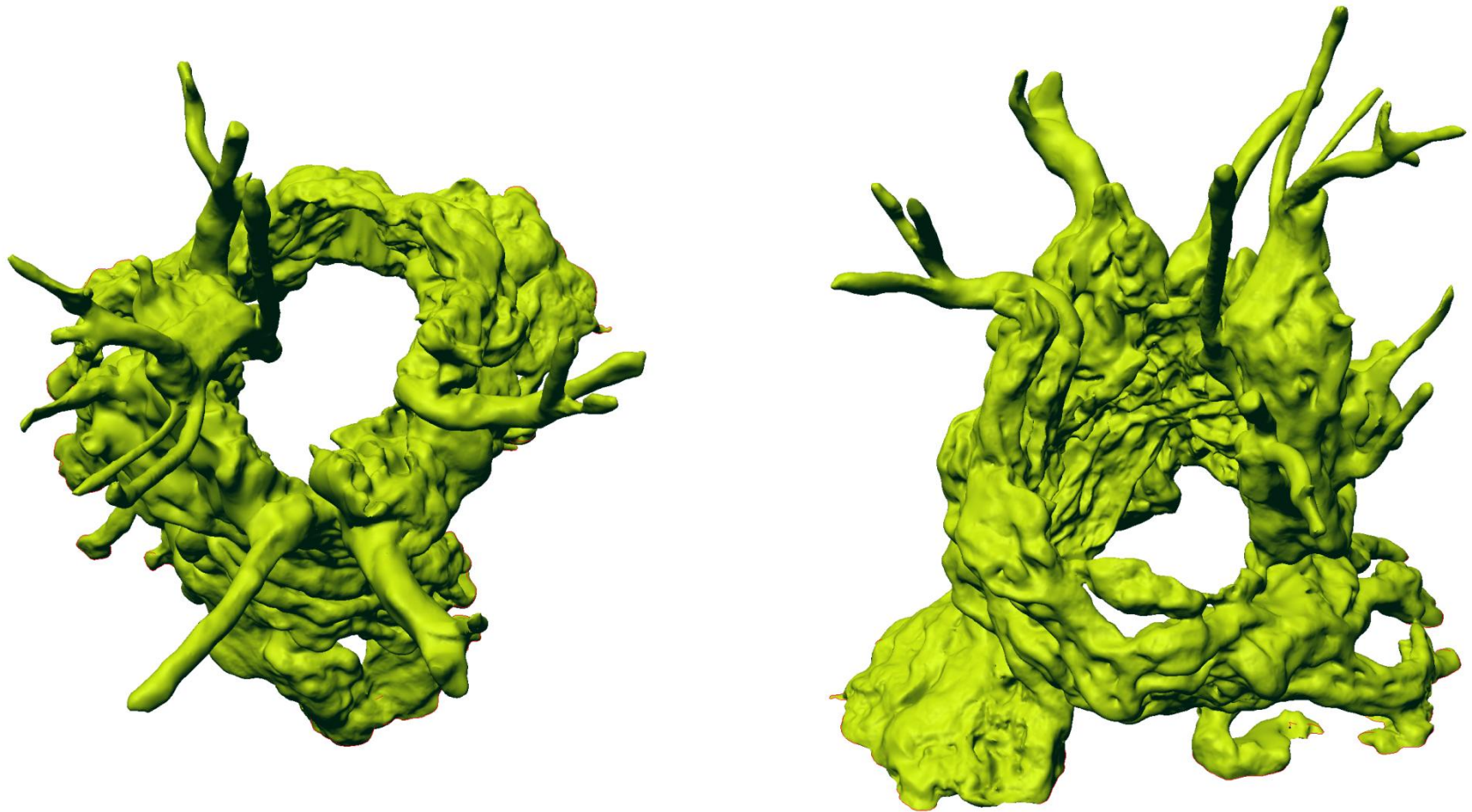
Σχήμα 3.49: Αποψη τρισδιάστατου μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών



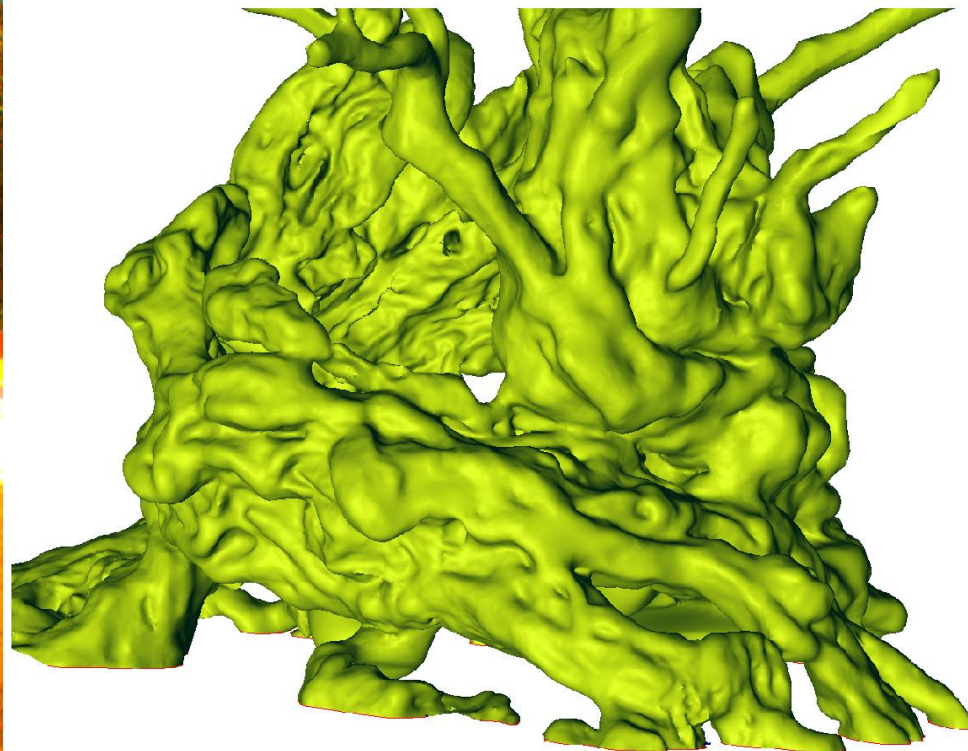
Σχήμα 3.50: Άποψη τρισδιάστατου μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών



Σχήμα 3.51: Αποψη τρισδιάστατου μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών



Σχήμα 3.52: Άποψη τρισδιάστατου μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών απο πάνω



Σχήμα 3.53: Σύγκριση πραγματικού δέντρου με το τρισδιάστατο μοντέλο



Σχήμα 3.54: Σύγκριση πραγματικού δέντρου με το τρισδιάστατο μοντέλο

Γ. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ

Έχοντας καταλήξει στην τελική μορφή του τρισδιάστατου μοντέλου θα πρέπει να ελεγχθεί αν το μοντέλο που παρήχθη μοιάζει με το αρχικό νέφος σημείων, πάνω στο οποίο βασίστηκε όλη η εργασία. Αυτό γίνεται με τη διαδικασία της τρισδιάστατης σύγκρισης και ανάλυσης (3D Compare Analysis).

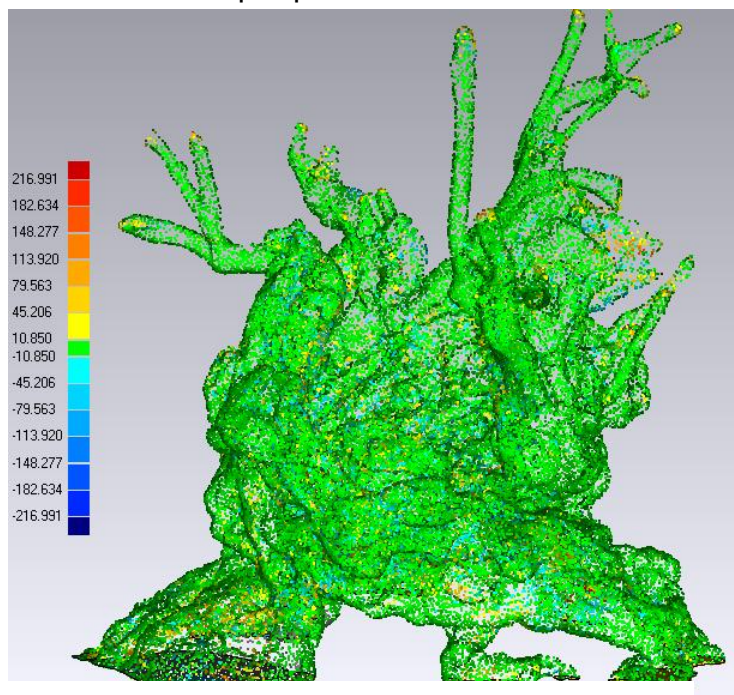
Γενικά, όταν γίνεται η επεξεργασία του πολυγωνικού πλέγματος, με την αφαίρεση (διαγραφή τριγώνων) και προσθήκη υλικού (κάλυψη οπών), οι πληροφορίες που έχουμε λάβει από το νέφος σημείων παραμορφώνεται κατά έναν βαθμό.

Εφαρμόζοντας τη σύγκριση παρατηρούμε ότι γενικά τα σημεία του πολυγωνικού πλέγματος βρίσκονται ανάμεσα στο διάστημα -10.85 mm και 10.85 mm. Η μέση απόσταση των σημείων του πλέγματος από τα αντίστοιχα του νέφους είναι 1.35 mm και τυπική απόκλιση είναι 24.776 mm.

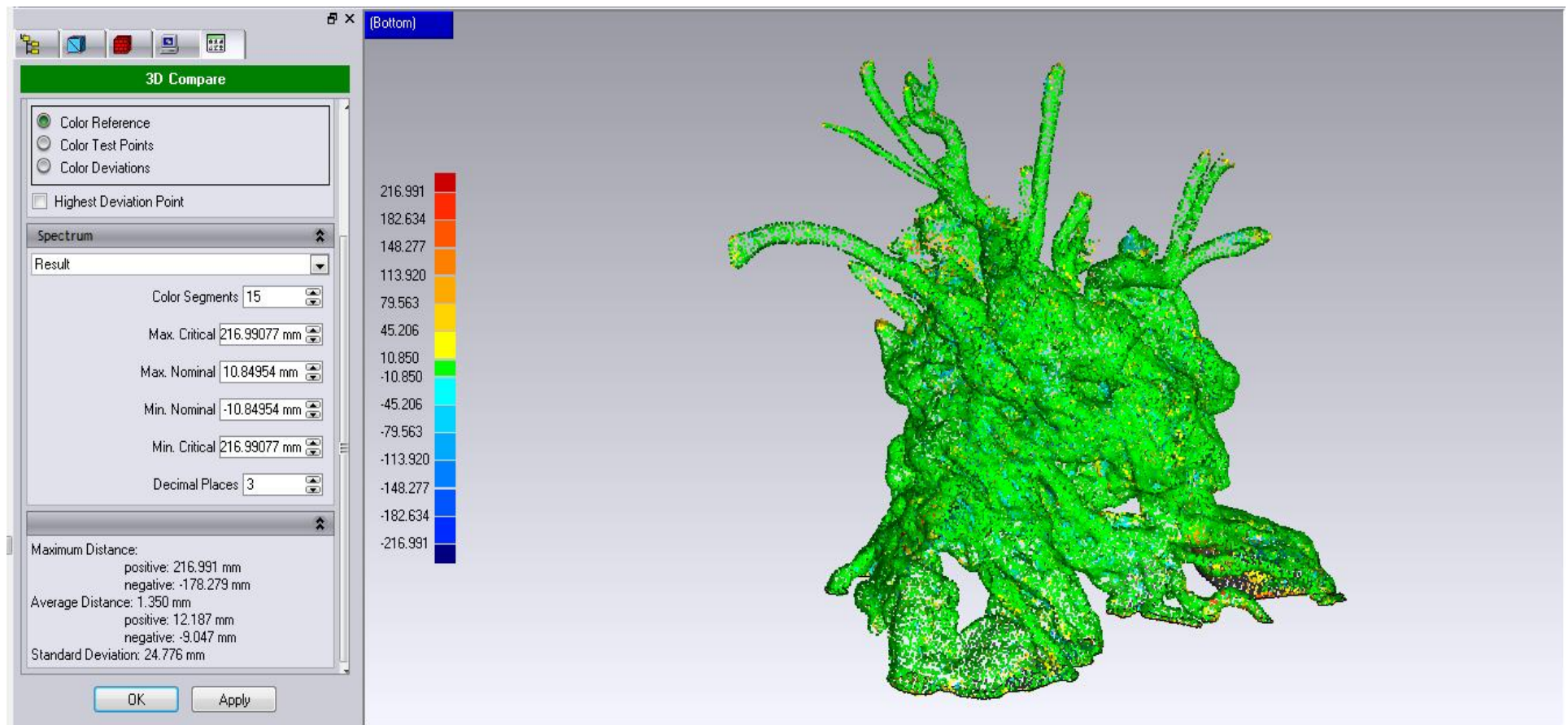
Αξιοσημείωτο αλλά όχι αναπάντεχο γεγονός ήταν ότι η μέγιστη θετική απόσταση είναι 216.991 mm και η μέγιστη αρνητική -178.279 mm. Δεν προκαλεί πολύ μεγάλη εντύπωση, καθώς στο τρισδιάστατο μοντέλο, όπως έχει τονιστεί νωρίτερα, υπήρχαν τμήματα στα οποία προστέθηκε υλικό με βάση τον πραγματικό κορμό, καθώς ο σαρωτής για διάφορους λόγους δεν μπορούσε να έχει οπτική επαφή. Στα

σημεία αυτά, όπως είναι εύκολα κατανοητό, δεν υπάρχουν σημεία στο νέφος. Επομένως κατά τη διαδικασία της τρισδιάστατης σύγκρισης δεν υπάρχει αντίστοιχο σημείο στο νέφος με αυτό του πολυγωνικού πλέγματος για να συγκριθεί. Η σύγκριση γίνεται με κάποιο άλλο σημείο του πλέγματος, με το οποίο προφανώς έχει αρκετά μεγάλη απόσταση.

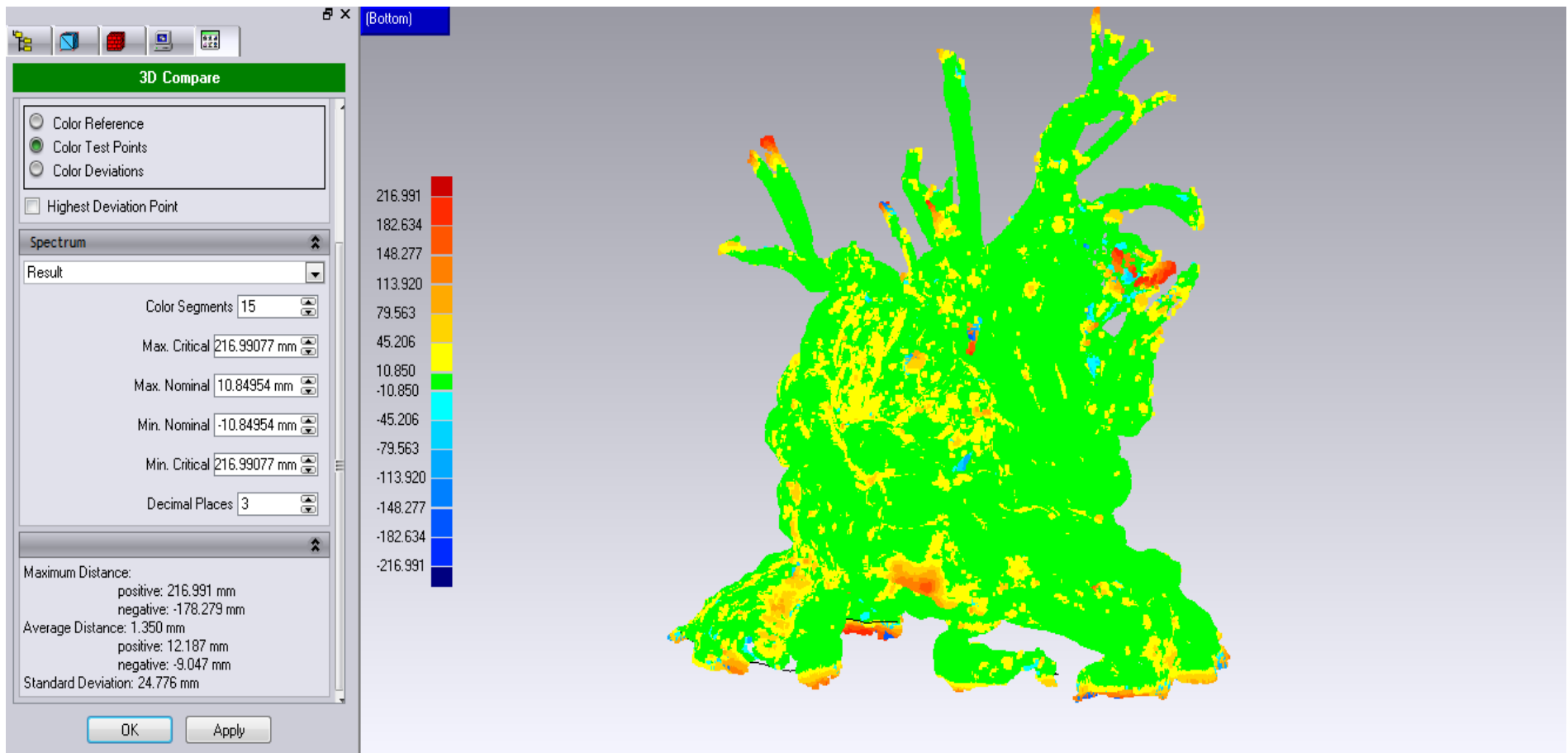
Παρατηρώντας το σχήμα 3.56 βλέπουμε ότι μεγάλες τιμές απόστασης υπάρχουν και στη βάση του μοντέλου. Κοιτώντας καλύτερα παρατηρούμε ότι το κόκκινο χρώμα αντιστοιχεί σε περιοχή του νέφους σημείων που στο τρισδιάστατο μοντέλο έχει διαγραφεί για να δημιουργηθεί η οριζόντια επιφάνεια.



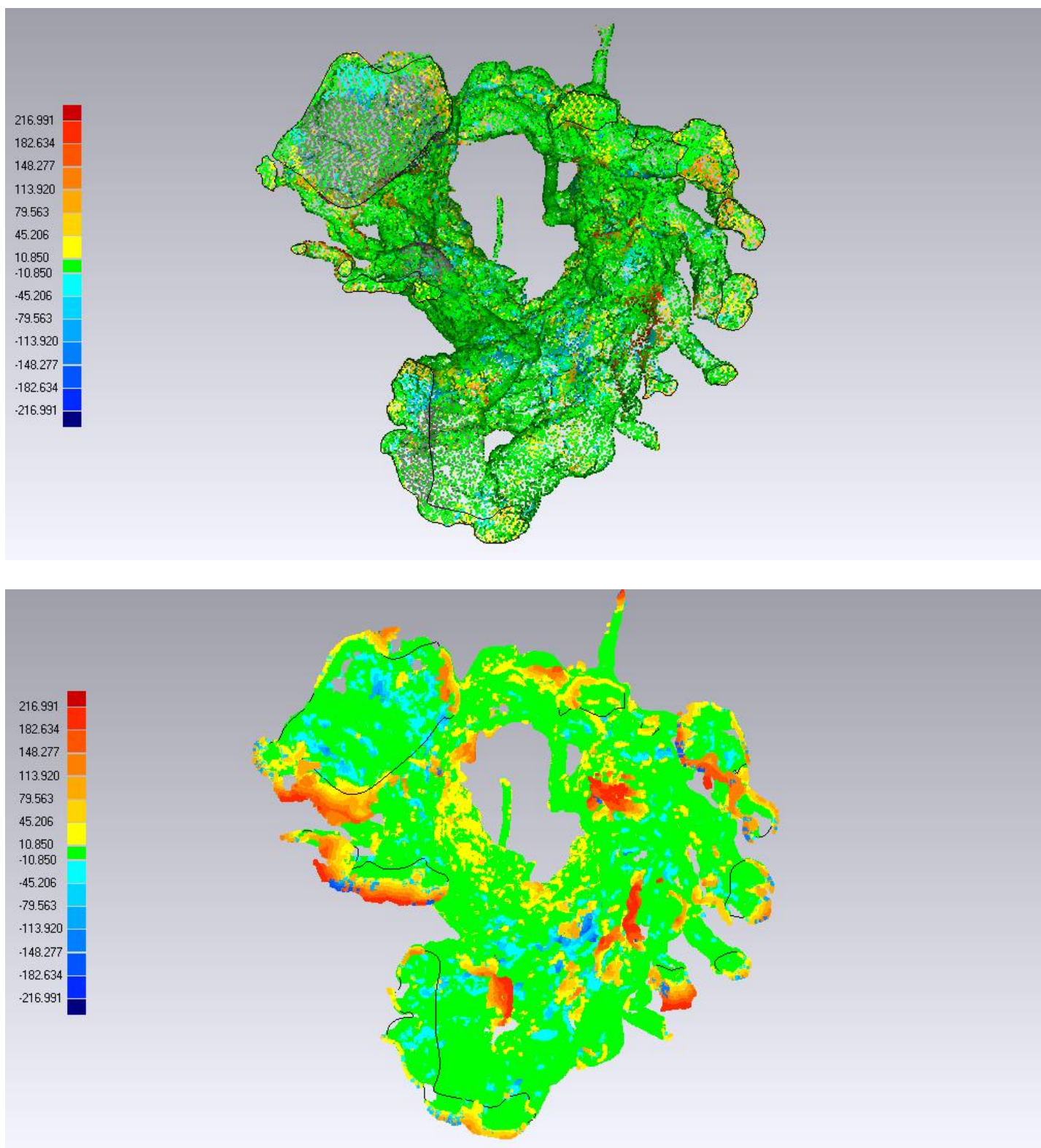
Σχήμα 3.55: Τρισδιάστατη Σύγκριση Νέφους Σημείων και Πολυγωνικού Πλέγματος



Σχήμα 3.56: Τρισδιάστατη Σύγκριση Νέφους Σημείων και Πολυγωνικού Πλέγματος



Σχήμα 3.57: Τρισδιάστατη Σύγκριση Νέφους Σημείων και Πολυγωνικού Πλέγματος



Σχήμα 3.58: Τρισδιάστατη Σύγκριση Νέφους Σημείων και Πολυγωνικού Πλέγματος

3.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΦΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ως τελευταίο βήμα της διαδικασίας δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου είχε οριστεί η επεξεργασία υφής του.

Ένας από τους σκοπούς της δημιουργίας του συγκεκριμένου μοντέλου ελιάς ήταν για να χρησιμοποιηθεί από το Μουσείο Ελιάς Βουβών ως μέρος των προσπαθειών ψηφιοποίησης αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Ως εκ τούτου, η χρήση χρώματος στο μοντέλο προσθέτει φωτορεαλισμό.

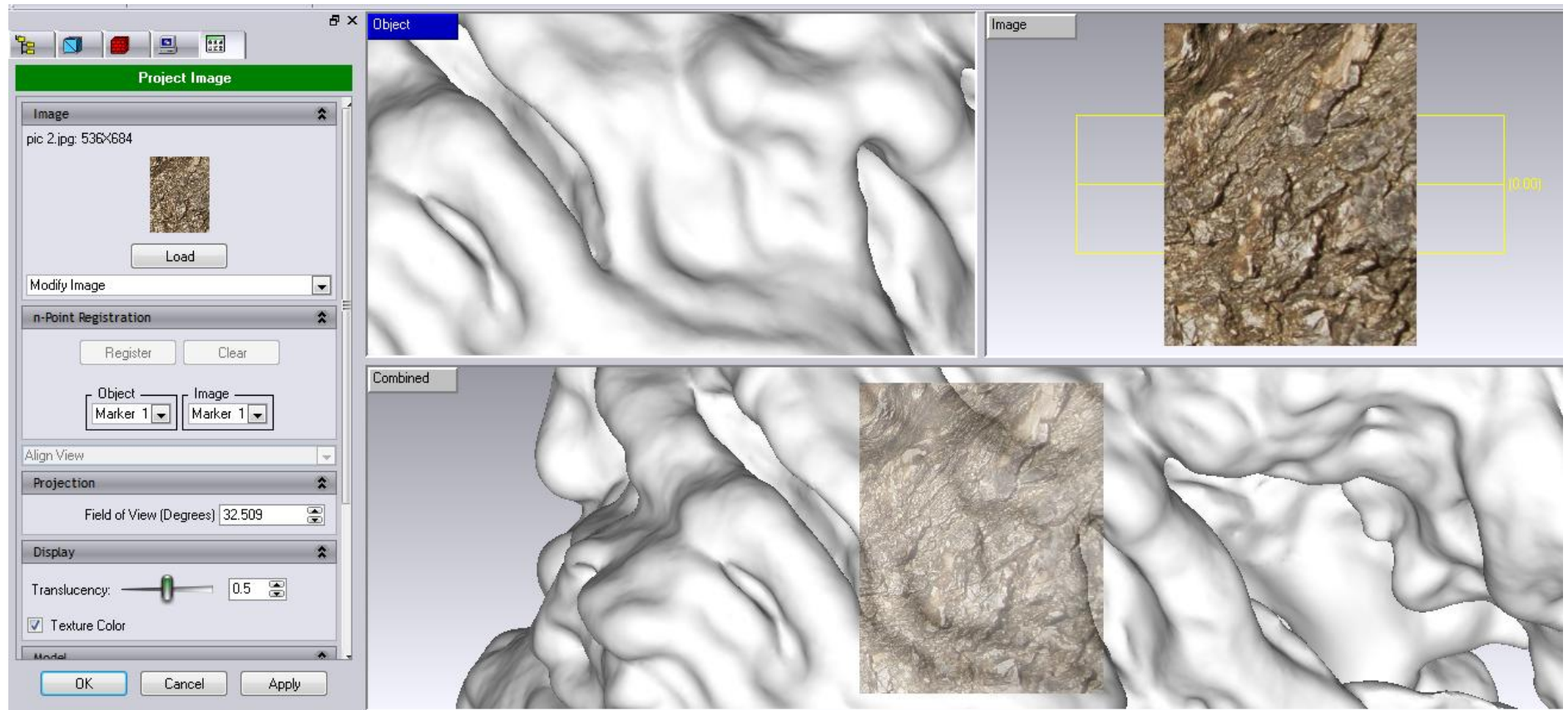
Προκειμένου να πραγματοποιηθεί αυτή η φάση, έπρεπε αρχικά να επιλεγθεί το κατάλληλο χρώμα. Χρησιμοποιώντας μία από τις φωτογραφίες που είχε τραβήξει ο σαρωτής, επιλέχθηκε το χρώμα που στο σχήμα 3.59 βρίσκεται τρίτο στη σειρά. Για μεγαλύτερη φυσικότητα προτιμήθηκε να μην χρησιμοποιηθεί μόνο ένα χρώμα, αλλά ολόκληρο το τμήμα του κορμού στη φωτογραφία. Μετά από επεξεργασία του τμήματος αυτού παρήχθησαν άλλες τέσσερις αποχρώσεις, δύο πιο ανοιχτόχρωμες και δύο πιο σκουρόχρωμες, παριστάνοντας έτσι τον κορμό υπό περισσότερο ή λιγότερο φως.



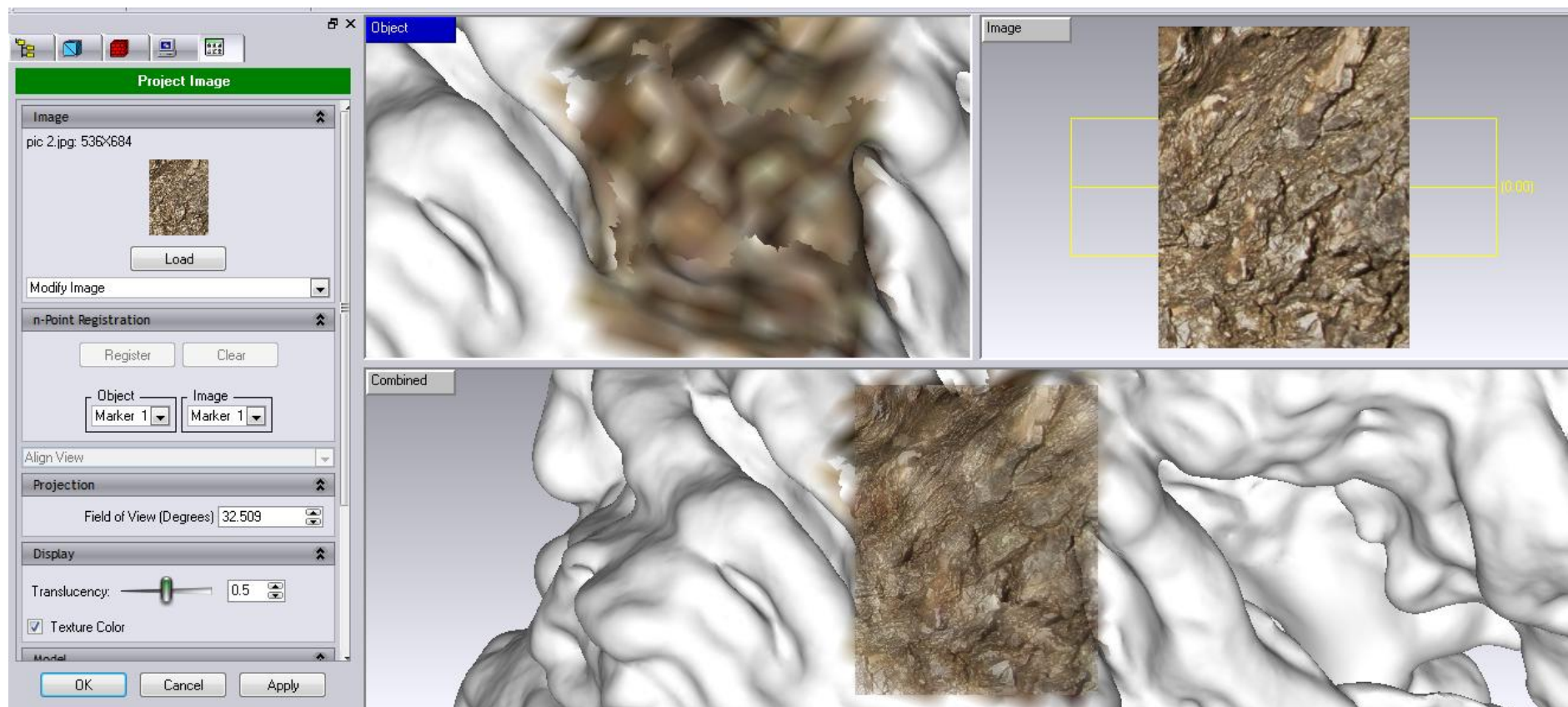
Σχήμα 3.59: Διαβαθμίσεις χρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν πάνω στο μοντέλο της ελιάς

Το λογισμικό Geomagic Studio 10 διαθέτει μια εφαρμογή που προβάλλει μία εικόνα (Project Image) πάνω στο ολοκληρωμένο μοντέλο. Προκειμένου να μπορέσει να φανεί καλά η προβολή του χρώματος, θα πρέπει να αφαιρεθεί κάθε προηγούμενο χρώμα, αφήνοντας έτσι τον κορμό λευκό. Ανοίγοντας την εφαρμογή παρατηρούμε ότι υπάρχουν τρία παράθυρα όπως κατά την ενοποίηση των σαρώσεων. Η λογική είναι παρόμοια, καθώς στα δύο παράθυρα στο πάνω μέρος φαίνονται μια όψη του τρισδιάστατου μοντέλου και το χρώμα που θέλουμε να προβληθεί στην όψη αυτή.

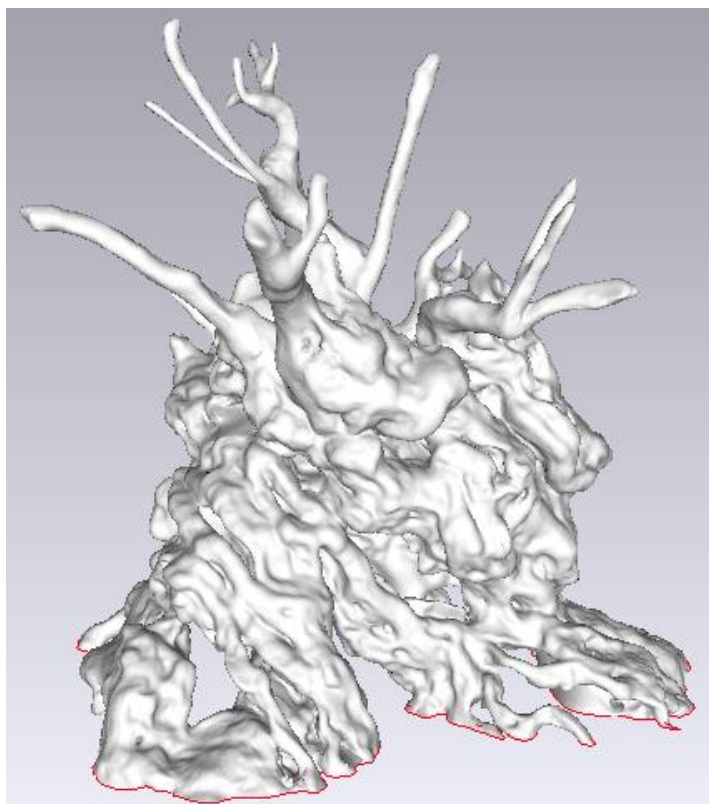
Αρχικά καλύφθηκε όλη η επιφάνεια της ελιάς με την μεσαία απόχρωση του σχήματος 3.59. Στη συνέχεια οι πιο φωτεινοί τόνοι τοποθετήθηκαν σε σημεία του κορμού που βρίσκονταν πιο έξω, τονίζοντας τα εξογκώματα, ενώ οι πιο σκούροι τόνοι χρησιμοποιήθηκαν για τις κοιλότητες καθώς και την εσωτερική επιφάνεια του κορμού. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η διαδικασία.



Σχήμα 3.60: Προβολή εικόνας πάνω στον κορμό



Σχήμα 3.61: Προβολή εικόνας πάνω στον κορμό



Σχήμα 3.62: Πριν την εφαρμογή του χρώματος και μετά την εφαρμογή του βασικού χρώματος σε όλο τον κορμό



Σχήμα 3.63: Τελική μορφή και εμφάνιση του τρισδιάστατου μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ

Η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών είχε τρία θετικά αποτελέσματα. Η πρώτη θετική απόρροια ήταν ότι πραγματοποιήθηκε η ψηφιοποίηση ενός σημαντικού μέρους της πολιτιστικής μας κληρονομιάς και υποστηρίχθηκε το έργο του Μουσείου Ελιάς Βουβών στην προσπάθεια του για την προβολή και διάδοση της κληρονομιάς αυτής. Επιπλέον δόθηκε μια καλή ευκαιρία για επιστημονική μελέτη και ανάλυση του δέντρου, που μέχρι τώρα ήταν ιδιαίτερα περίπλοκη λόγω της πολύ ιδιαίτερης γεωμετρίας του κορμού. Τέλος, πλέον ήταν δυνατή η κατασκευή ενός αντίγραφου του κορμού σε κλίμακα με τη χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή.



Σχήμα 4.1: Η ιστοσελίδα του Μουσείου Ελιάς Βουβών

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τρόποι με τους οποίους χρησιμοποιήθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο της Ελιάς.

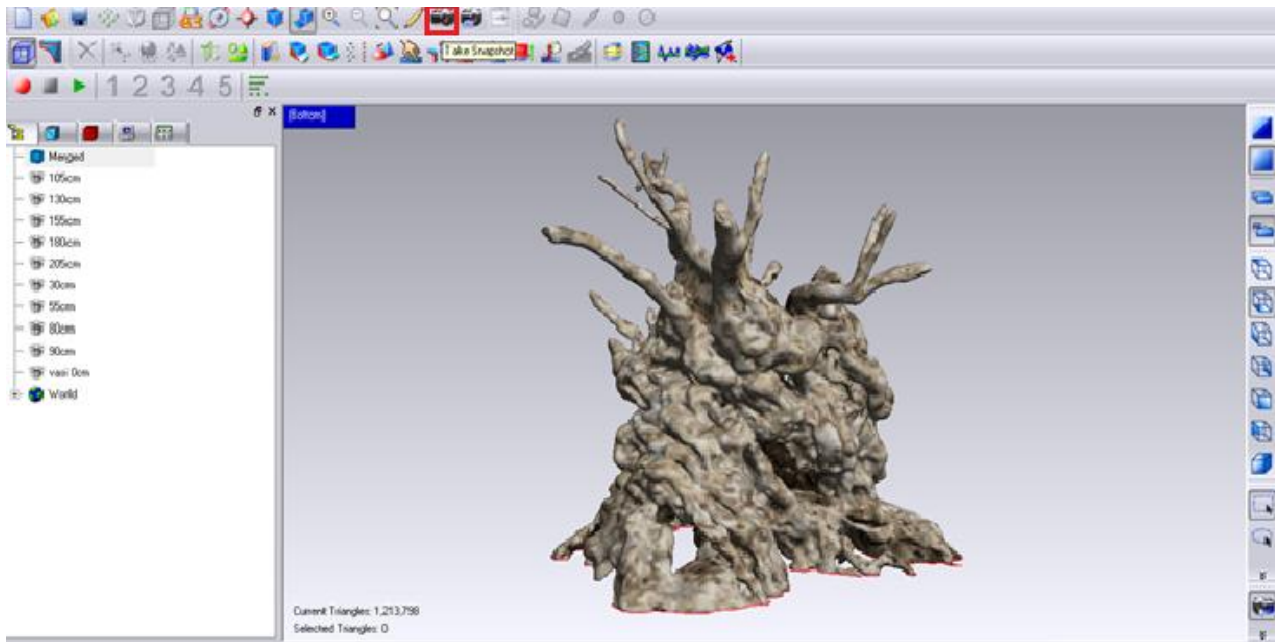
4.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ANIMATION

Προκειμένου να είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο της Ελιάς Βουβών από την ιστοσελίδα του Μουσείου Ελιάς έπρεπε να παρεμβληθεί ένα επιπλέον βήμα: να κατασκευαστεί ένα αρχείο animated GIF (Graphics Interchange Format) που να παρουσιάζει τον κορμό από πολλές περιφερειακές θέσεις.

Τα αρχεία με κατάληξη .gif είναι αρχεία εικόνας. Η ιδιαιτερότητα του είναι ότι δεν περιλαμβάνουν μόνο μία εικόνα αλλά ένα πλήθος από αυτές. Το animated .gif παρουσιάζει τις εικόνες αυτές σε μία αλληλουχία η οποία είναι προκαθορισμένη σε τέτοια ταχύτητα που δίνει την ψευδαίσθηση της κίνησης.

Προκειμένου να κατασκευαστεί, λοιπόν, ένα αρχείο αυτής της μορφής χρειαζόνταν φωτογραφίες της ψηφιακής αναπαράστασης της Ελιάς Βουβών. Το λογισμικό Geomagic Studio 10 διαθέτει τη δυνατότητα λήψης φωτογραφιών (snapshots) του αντικειμένου που επεξεργάζεται. Έτσι, ενώ το μοντέλο του κορμού περιστρεφόταν γύρω από τον κάθετο άξονα λαμβάνονταν φωτογραφίες ανά ίσες αποστάσεις.

Συνολικά λήφθηκαν 79 snapshots ανά 4.5 μοίρες. Το μέγεθος των φωτογραφιών αυτών είχε οριστεί στο λογισμικό να είναι 700x700 pixels και ως φόντο επιλέχτηκε το λευκό χρώμα. Προκειμένου το μέγεθος του παραχθέντος αρχείου να μην είναι πολύ μεγάλο και το μέγεθος του animated GIF να είναι κατάλληλο για τη χρήση του από την ιστοσελίδα, τα pixels των φωτογραφιών μειώθηκαν στα 320x320.

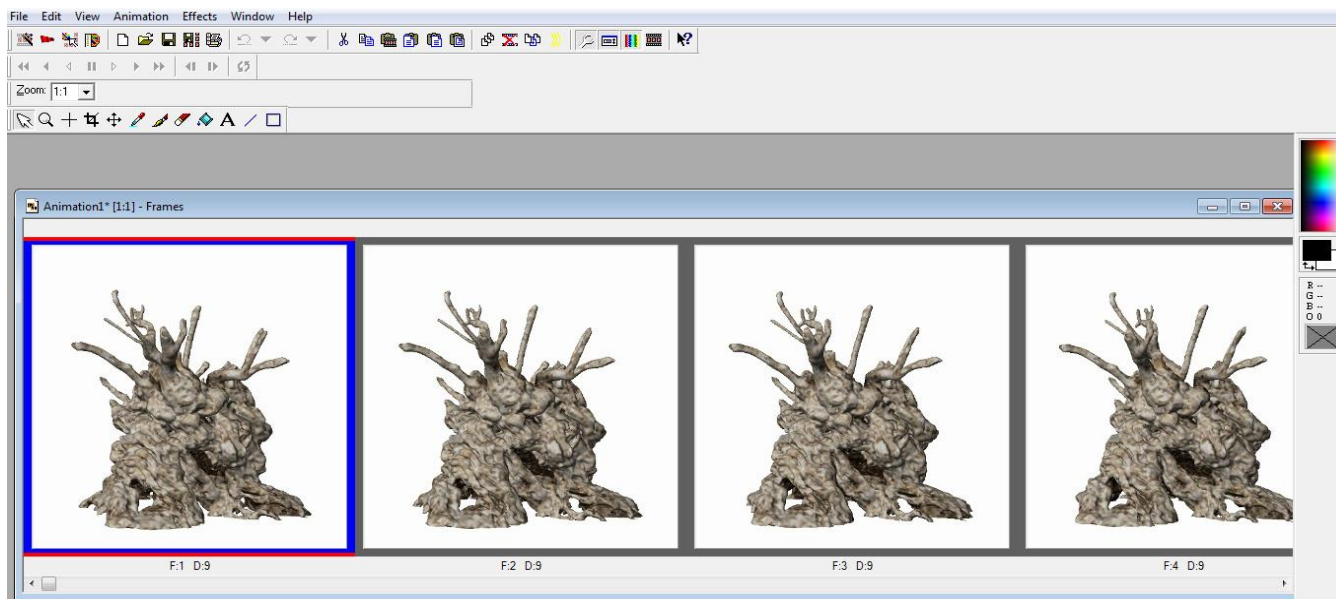


Σχήμα 4.2: Λήψη φωτογραφιών της Ελιάς Βουβών μέσω του λογισμικού Geomagic Studio 10

Για τη σύνθεση του animated GIF χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Jasc Animation Shop 3, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Οι φωτογραφίες τοποθετήθηκαν στην επιθυμητή σειρά και δόθηκε ο χρόνος μεταξύ των εναλλαγών, 0,09 δευτερόλεπτα. Κάνοντας τον

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ

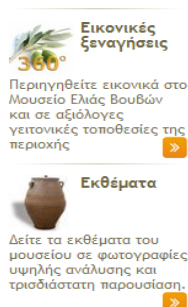
πολλαπλασιασμό μεταξύ των αριθμό των εικόνων, εβδομήντα εννέα, και τον χρόνο προβολής της κάθε μίας, υπολογίζεται ότι για μια πλήρη εικονική περιστροφή του μοντέλου της Ελιάς χρειάζονται 7,11 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 4.3: σύνθεση του animated GIF χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Jasc Animation Shop 3

Αφού ορίστηκαν οι παράμετροι, δημιουργήθηκε το τελικό αρχείο, το οποίο μπορεί να βρεθεί στην ιστοσελίδα του Μουσείου Ελιάς Βουβών με διεύθυνση:

<http://www.olivemuseumvounves.com/pages.aspx?id=144&lang=el>



Το τρισδιάστατο μοντέλο του κορμού της Μνημειακής Ελιάς Βουβών



Η Μνημειακή Ελιά Βουβών, το αρχαιότερο δέντρο ελιάς στον κόσμο, αποτελεί αναμφισβήτητα ένα πολύτιμο κομμάτι της πολιτισμικής μας κληρονομιάς. Για αυτό το λόγο αποφασίσαμε να εφαρμόσουμε σύγχρονες, τεχνολογίες ακμής για την ακριβή αποτύπωση και καταγραφή του κορμού της Μνημειακής Ελιάς Βουβών.

Χρησιμοποιήθηκε ένα πλήρες σύστημα επίγειου σαρωτή λέιζερ ILRIS 3D για τις εξωτερικές σαρώσεις και μία Minolta Vivid 910 για τις εσωτερικές. Το τελικό αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν ένα πλήρες τρισδιάστατο μοντέλο του κορμού της Μνημειακής Ελιάς Βουβών με δυνατότητα αποτύπωσης της γεωμετρίας με ακρίβεια 0,5 εκατοστά. Ταυτόχρονα παρέχει τις δυνατότητες:

- Λήψων τομών σε οποιαδήποτε ύψος με μετρητική πληροφoρία ακρίβειας 0,5 cm και υπολογισμός εξωτερικής και εσωτερικής διαμέτρου σε οποιαδήποτε ύψος. (Δείτε τις εικόνες παραπάνω).
- Υπολογισμού του ακριβούς συνολικού όγκου του κορμού.
- Δημιουργία animation του κορμού.
- Κατασκευή ενός ακριβούς αντιγράφου του κορμού σε κλίμακα με την χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή (τελευταία φωτογραφία).

Ενδεικτικά κάποια από τα στοιχεία που υπολογίστηκαν με ακρίβεια είναι:

- Όγκος κορμού: 4,67 m³
- Μέγιστη εξωτερική διάμετρος σε ύψος 1,3m (DBH): 2,66 m
- Μέγιστη εσωτερική διάμετρος σε ύψος 1,3m: 2,01 m
- Μέγιστη εξωτερική διάμετρος σε ύψος 0,9 m : 3,04 m
- Μέγιστη εσωτερική διάμετρος σε ύψος 0,9m: 2,15 m
- Μέγιστη απόσταση μεταξύ 2 σημείων του κορμού στο επίπεδο εδάφους: 3,95 m

Για περισσότερες πληροφορίες για την 3d αποτύπωση του κορμού της Μνημειακής Ελιάς Βουβών επικοινωνήστε με τον Δρ. Μανόλη Μαραβελάκη marvel@chania.telcrete.gr

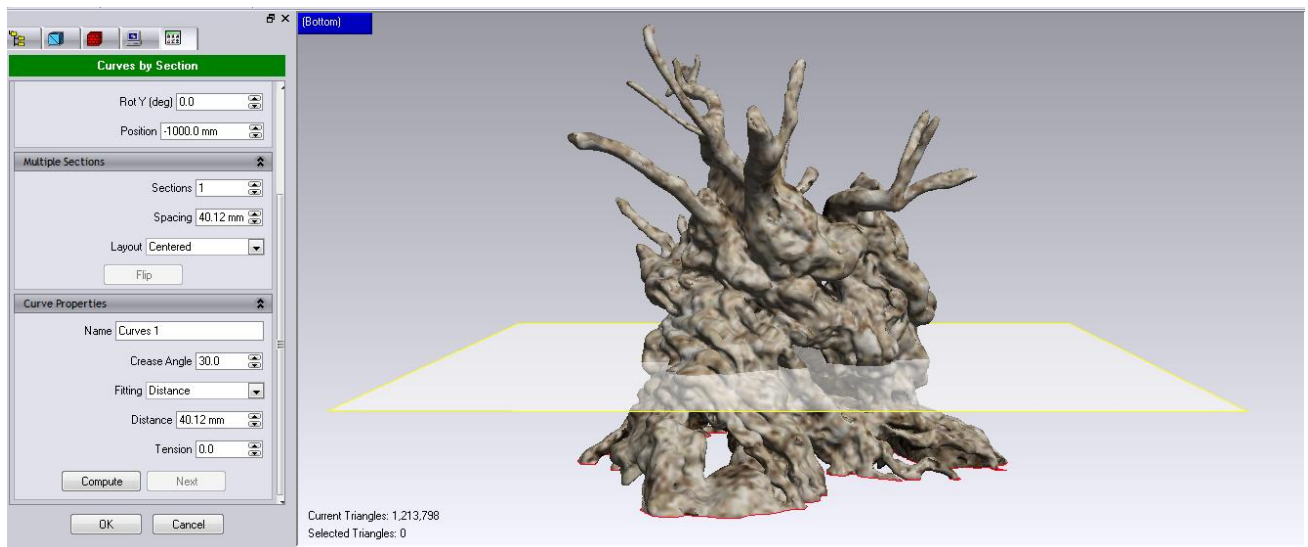
Σχήμα 4.4: Χρήση του animated GIF από την ιστοσελίδα του Μουσείου Ελιάς Βουβών

4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ

Με την ολοκλήρωση του τρισδιάστατου μοντέλου της Ελιάς ήταν πλέον δυνατόν να γίνουν με ακρίβεια υπολογισμοί που μέχρι τώρα γίνονταν προσεγγιστικά.

Αρχικά δόθηκε η δυνατότητα υπολογισμού του όγκου της ελιάς. Επιλέγοντας την εντολή υπολογισμού όγκου (Compute Volume) το λογισμικό Geomagic Studio 10 προσδιόρισε τον όγκο του κορμού στα 4.67 m^3 . Στον υπολογισμό αυτό περιλαμβάνεται ότι αποτυπώθηκε στο μοντέλο, επομένως δεν είναι υπολογισμένος ο χώρος που λαμβάνει το φύλλωμα ή το μη ορατό ριζικό σύστημα.

Μία άλλη εφαρμογή είναι ο υπολογισμός των τομών της Ελιάς σε διάφορα ύψη, με την εντολή Curves by Section. Όπως φαίνεται και παρακάτω επιλέγεται το ύψος και αυτόματα λαμβάνεται το λεπτομερές σχήμα της οριζόντιας τομής στο ύψος αυτό.

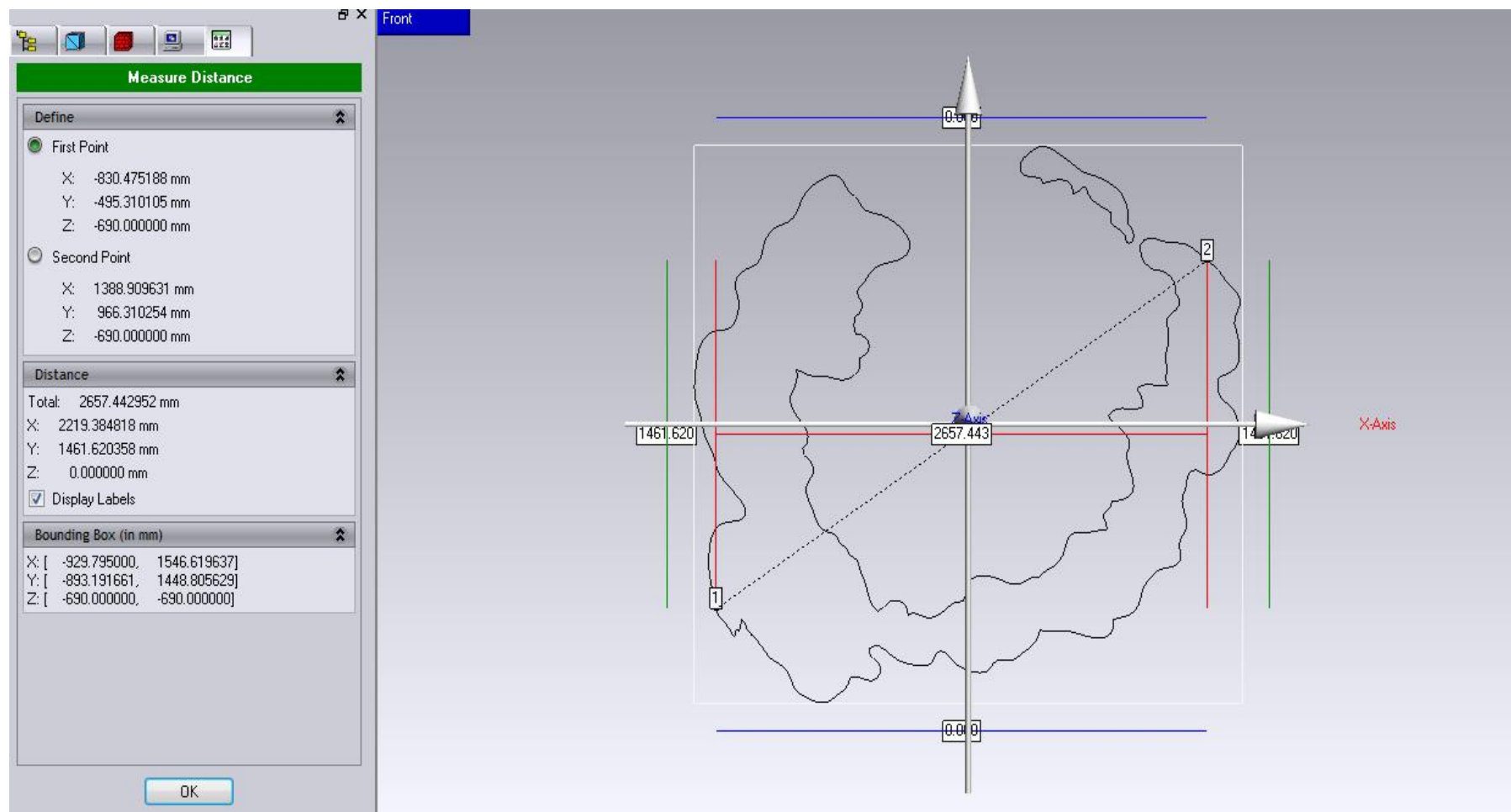


Σχήμα 4.5: Εφαρμογή της εντολής Curves by Section

Οι τομές λήφθηκαν ανά 0,25 m ξεκινώντας από το ύψος των 0,30 m και καταλήγοντας σε ύψος 2,05 m.

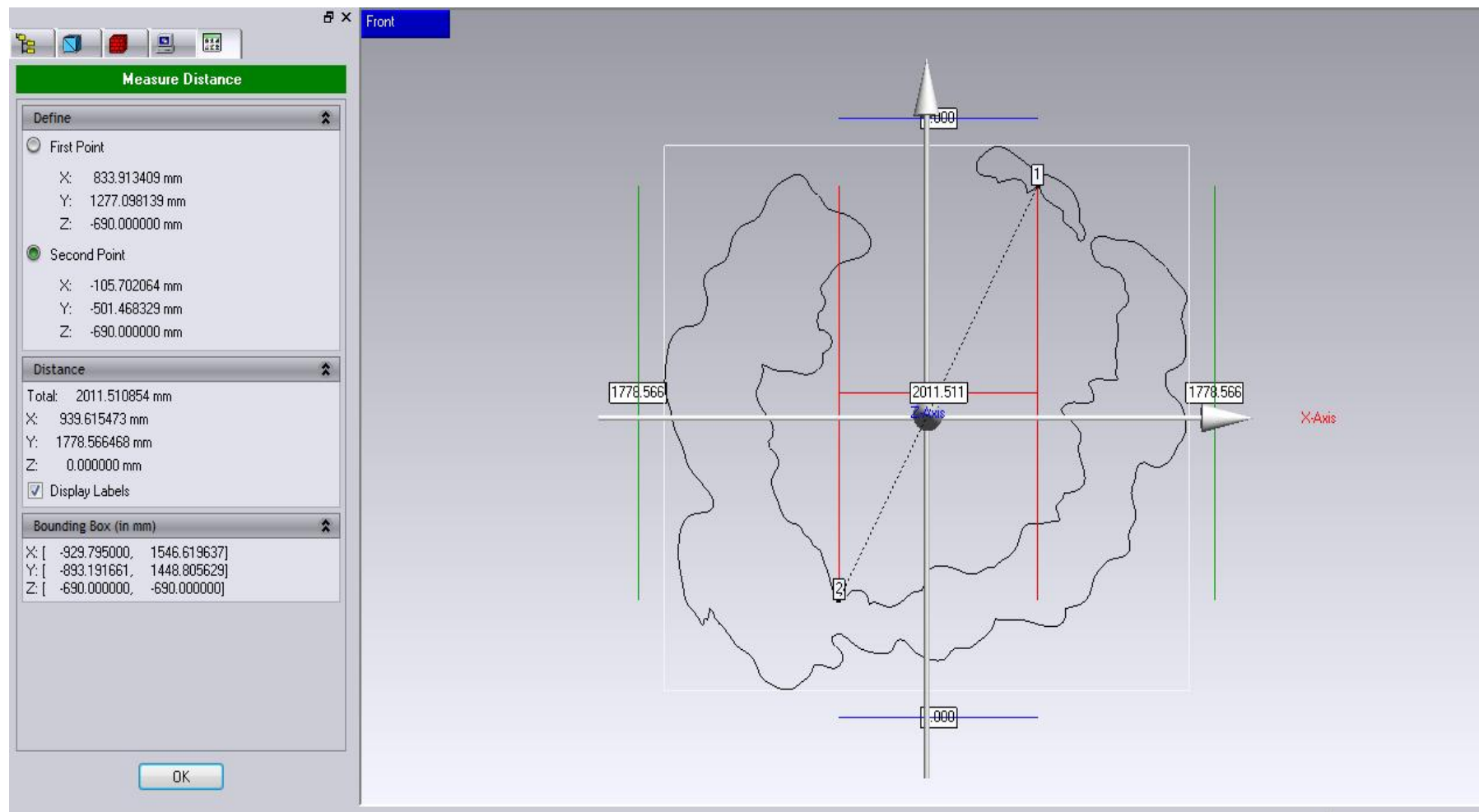
Έχοντας πλέον πλήρη οπτική επαφή και κατανόηση του σχήματος εσωτερικά και εξωτερικά της ελιάς σε διάφορα ύψη ήταν δυνατόν να υπολογιστεί και η μέγιστη εσωτερική και εξωτερική διάμετρος στα ύψη αυτά. Για παράδειγμα σε ύψος 0, m η μέγιστη εξωτερική διάμετρος είναι 3,04 m και η μέγιστη εσωτερική 2,15 m. Αντίστοιχα τα μεγέθη σε ύψος 1,3 m (DBH) είναι 2,66 m και 2,01 m. Γενικά, η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων του κορμού στο επίπεδο του εδάφους είναι 3,95 m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ



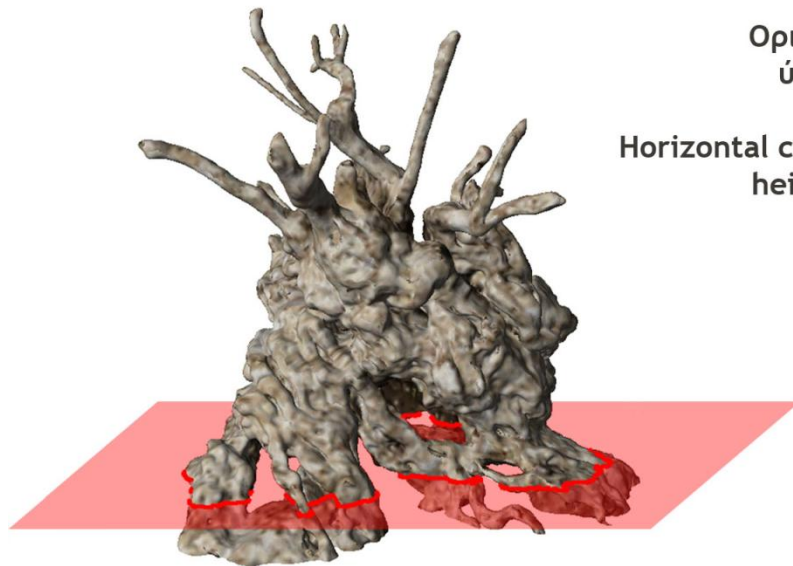
Σχήμα 4.6: Υπολογισμός μέγιστης εξωτερικής διαμέτρου σε ύψος 1,3 m (DBH)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ



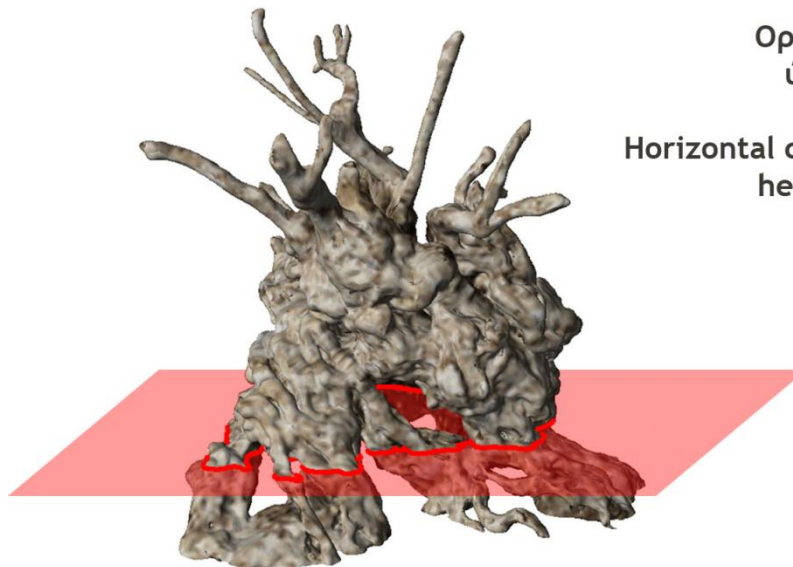
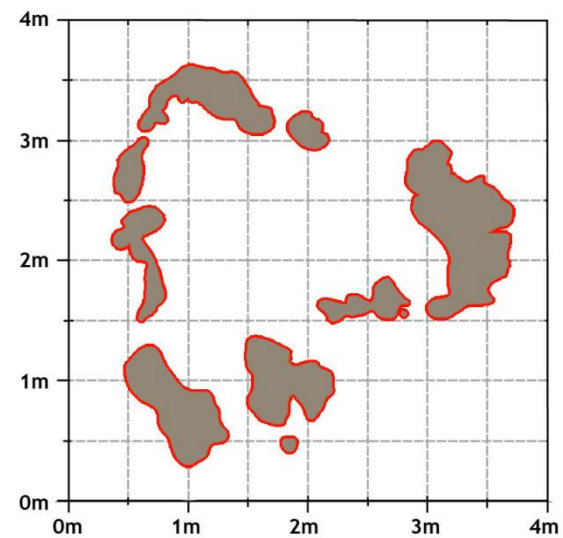
Σχήμα 4.7: Υπολογισμός μέγιστης εσωτερικής διαμέτρου σε ύψος 1,3 m (DBH)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ



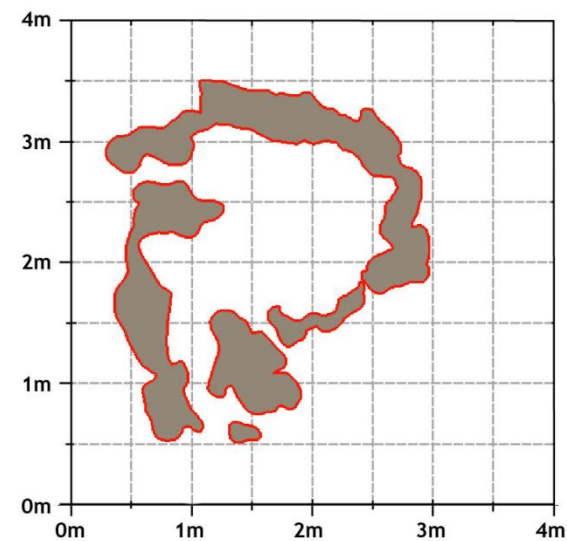
Οριζόντια τομή
ύψος: 0,30 μ

Horizontal cross section
height: 0,30 m

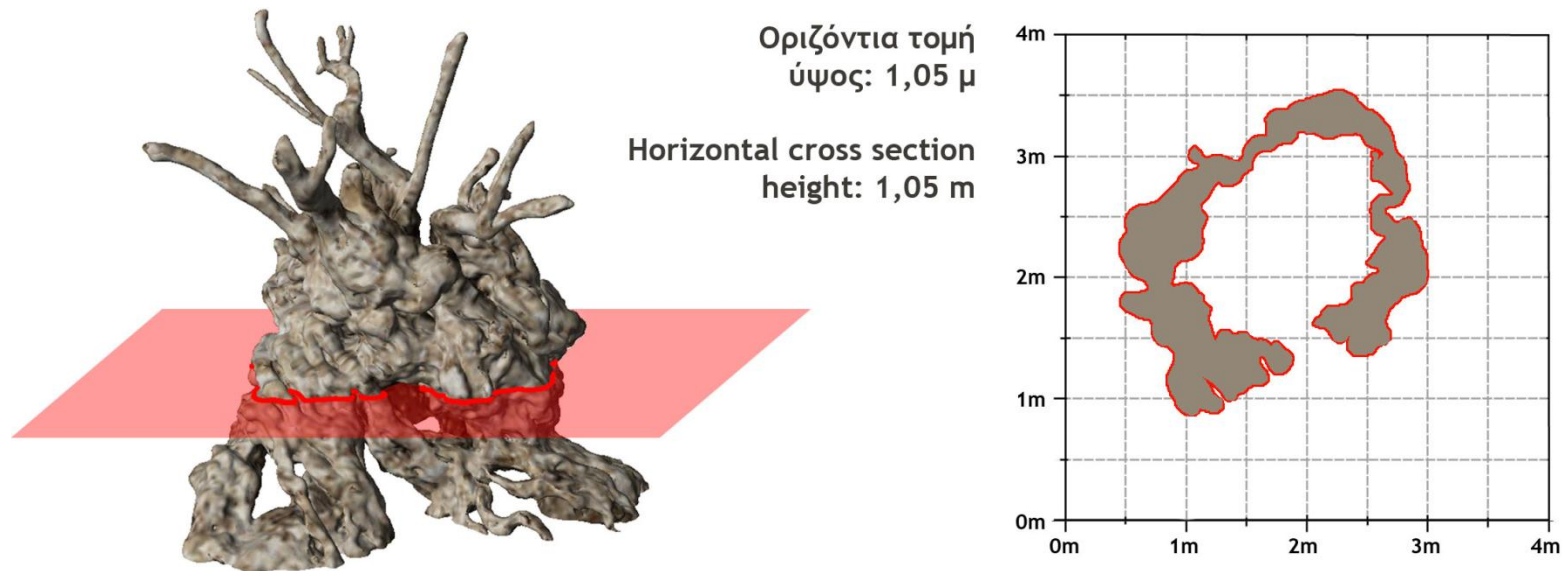
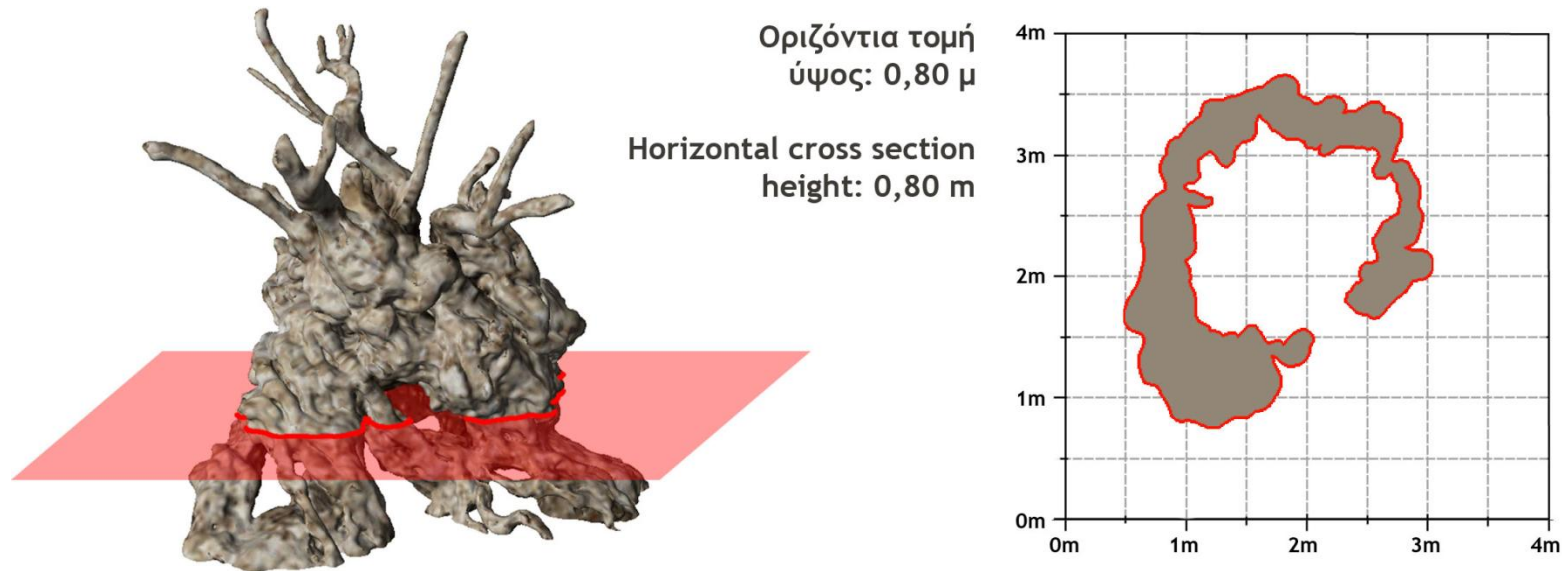


Οριζόντια τομή
ύψος: 0,55 μ

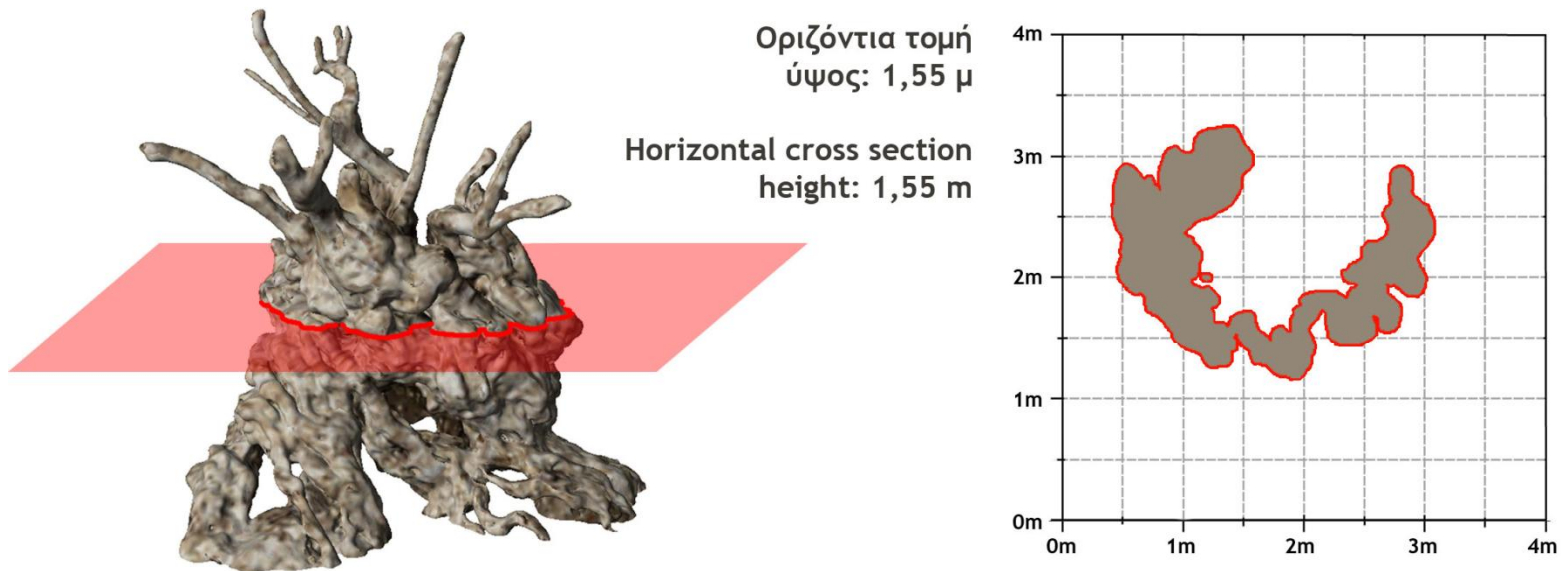
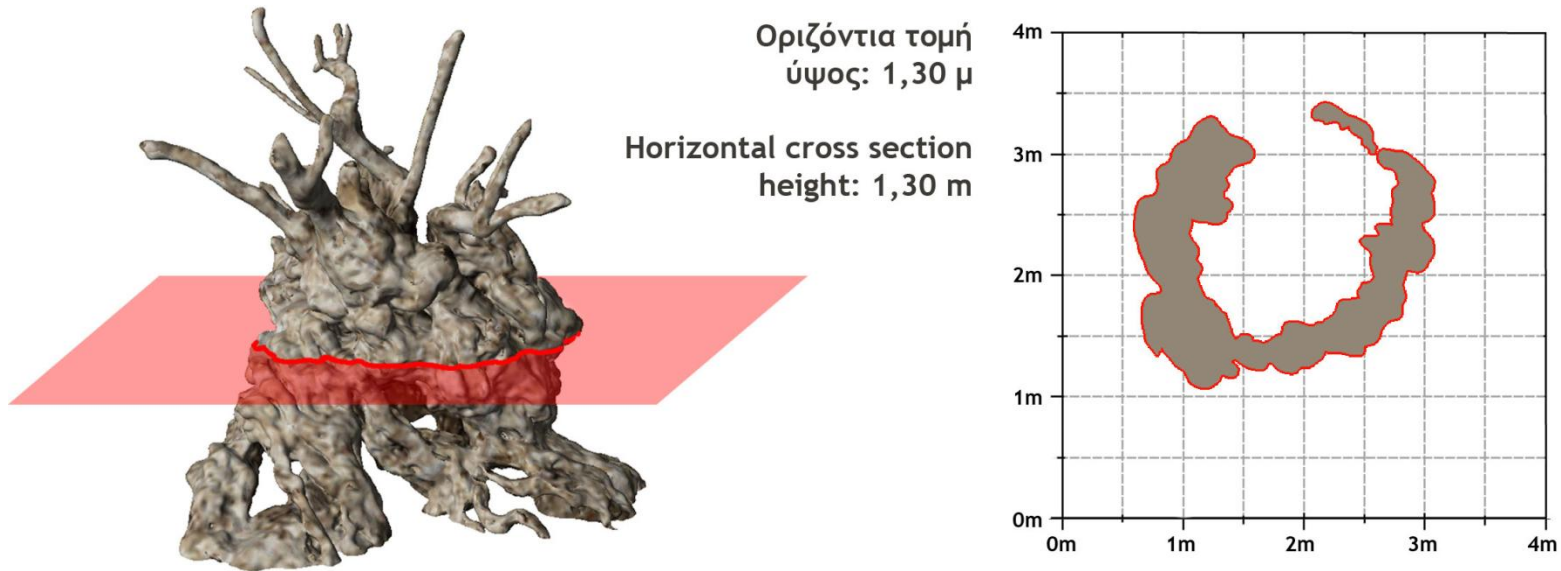
Horizontal cross section
height: 0,55 m



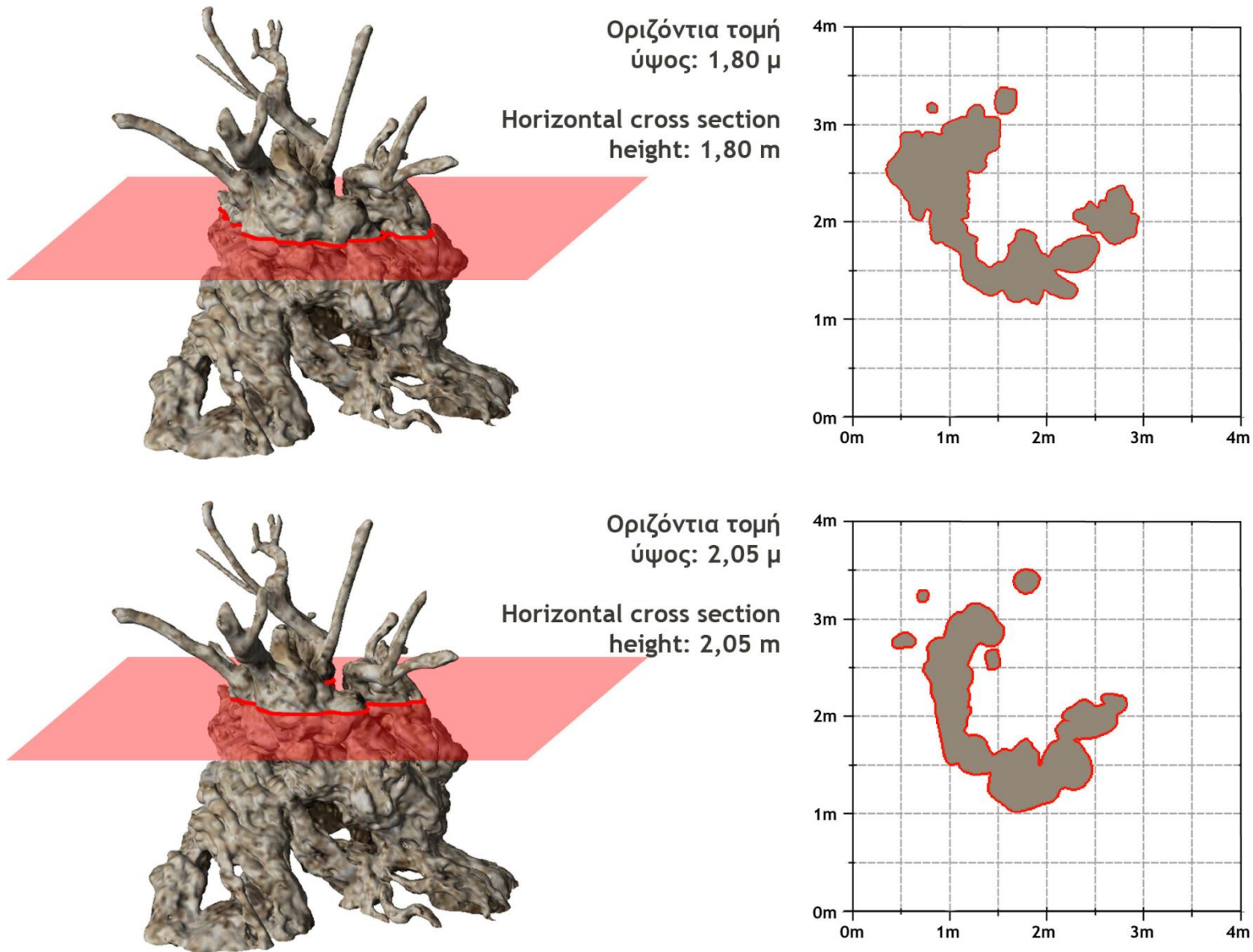
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΝΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΛΙΑΣ ΒΟΥΒΩΝ



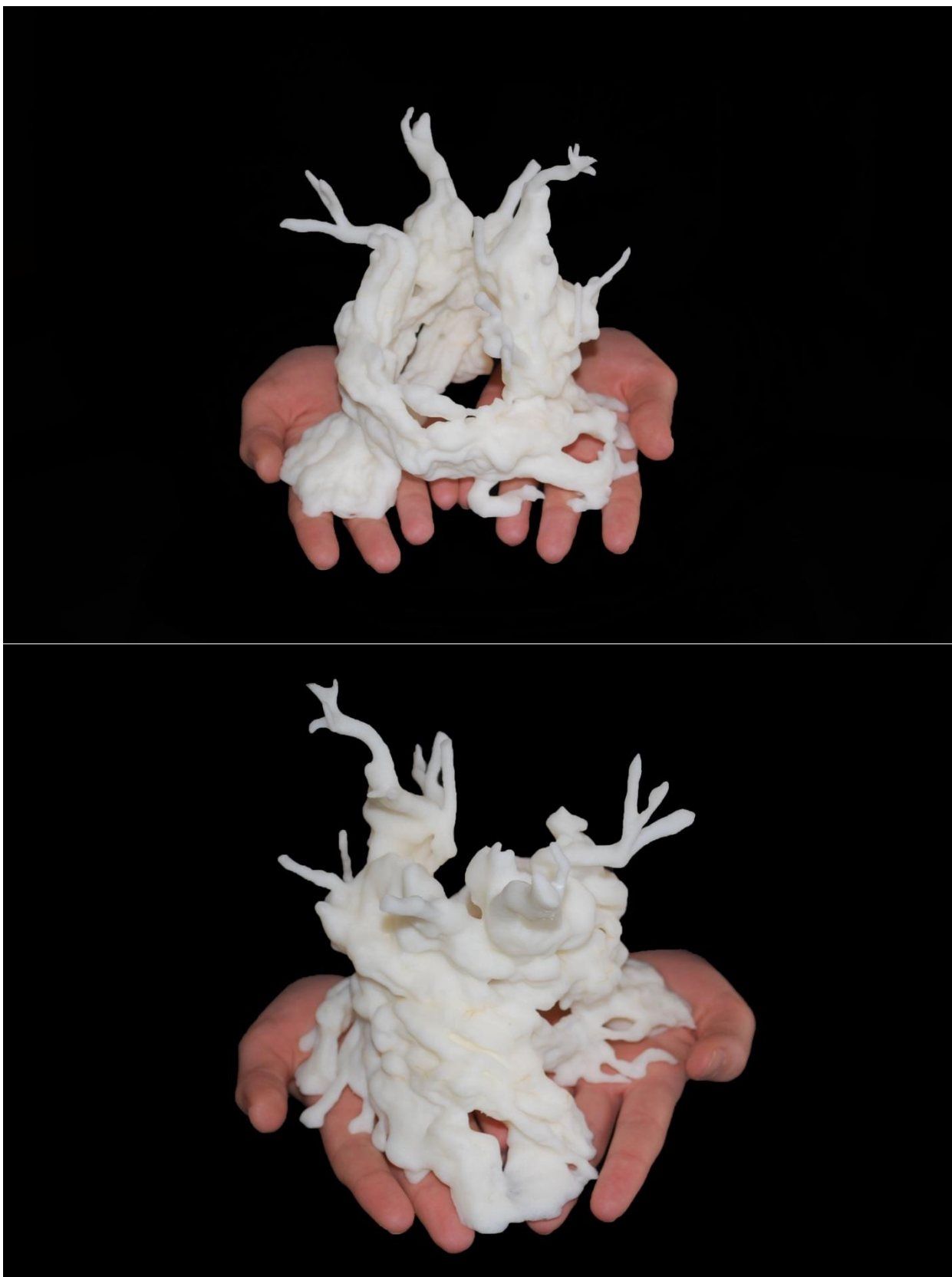
4.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ

Η τελευταία εφαρμογή που μπόρεσε να πραγματοποιηθεί λόγω της δημιουργίας του ψηφιακού μοντέλου της Ελιάς Βουβών ήταν η δημιουργία αντίγραφου υπό κλίμακα. Το αντίγραφο αυτό δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του τρισδιάστατου εκτυπωτή Dimension Stratasys 3D printer.

Γενικά, ο τρόπος λειτουργίας ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή ξεκινά με την εισαγωγή του σχεδίου του τρισδιάστατου μοντέλου που πρόκειται να δημιουργηθεί. Η ειδική κεφαλή του εκτυπωτή, η οποία κινείται ελεύθερα στους δύο άξονες της εκτύπωσης, απλώνει αλληπάλληλες επιστρώσεις ρευστού πλαστικού, το οποίο έχει θερμανθεί, καθώς και το υλικό υποστήριξης που είναι απαραίτητο να υπάρχει πριν την επόμενη στρώση. Η στερεοποίηση πραγματοποιείται με υπεριώδες λέιζερ. Η κάθε στρώση είναι σαν μία τομή, επομένως το αποτέλεσμα μπορεί να το φανταστεί κανείς σαν μια στίβα τομών του μοντέλου. Μετά τη διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης το αντικείμενο καθαρίζεται από το υλικό υποστήριξης και το αντίγραφο είναι έτοιμο.



Σχήμα 4.8: Τρισδιάστατος εκτυπωτής Dimension Stratasys 3D printer



Σχήμα 4.9: Όψεις του εκτυπωμένου αντίγραφου της Ελιάς Βουβών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το τρισδιάστατο μοντέλο της Μνημειακής Ελιάς Βουβών, απ'όσο γνωρίζουμε, είναι η πρώτη ψηφιακή αναπαράσταση η οποία καταγράφει με τέτοια λεπτομέρεια την πολυπλοκότητα της μορφής ενός μεμονωμένου δέντρου. Είναι διπλή η σημασία της δημιουργίας του μοντέλου αυτού, καθώς εκτός απ'τη χρήση του σε διάφορες δραστηριότητες διάδοσης στο διαδίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την επιστημονική μελέτη των μεγεθών του ελαιόδεντρου.

Προκειμένου να δημιουργηθεί το μοντέλο εφαρμόστηκε η μεθοδολογία της λήψης πολλαπλών σαρώσεων και η ενοποίηση τους με τη βοήθεια λογισμικού αντίστροφης μηχανικής. Ο όγκος του αντικειμένου προς σάρωση και η ιδιαιτερότητα της μορφής του (διαθέτει εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια) οδήγησαν στη λήψη 35 εξωτερικών σαρώσεων και 145 εσωτερικών. Για την καλύτερη καταγραφή των χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί σαρωτές, ο ένας για την εσωτερική επιφάνεια και ο άλλος για την εξωτερική.

Λόγω του ότι η σάρωση πραγματοποιήθηκε σε εξωτερικό χώρο, υπήρχαν διάφορες παράμετροι που έπρεπε να ληφθούν υπόψη, όπως οι καιρικές συνθήκες, η καθαρότητα της ατμόσφαιρας, τα οπτικά εμπόδια ανάμεσα στο μέσο σάρωσης και το αντικείμενο. Άλλοι περιορισμοί προέκυψαν από τις δυνατότητες των σαρωτών που χρησιμοποιήθηκαν, όπως για παράδειγμα ότι οι εξωτερικές σαρώσεις έπρεπε να πραγματοποιηθούν από απόσταση μεγαλύτερη των τριών μέτρων λόγω της εμβέλειας σάρωσης του ILRIS 3D, ή ότι ο σαρωτής που χρησιμοποιήθηκε στη σάρωση της εσωτερικής (MINOLTA VIVID 910 /VI- 910) επιφάνειας απαιτούσε σταθερό φωτισμό. Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς, όμως, ήταν ότι υπήρχαν όψεις της ελιάς που δεν υπήρχε δυνατότητα να αποτυπωθούν, όπως ήταν η εσωτερική πλευρά στο ύψος των ριζών, καθώς ήταν αδύνατη η πρόσβαση των σαρωτών που υπήρχαν στη διάθεση μας στα σημεία αυτά.

Οι παραπάνω περιορισμοί ήταν οι αιτίες για τις πιθανές δυσκολίες που εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια ενοποίησης των σαρώσεων και δημιουργίας του πολυγωνικού πλέγματος. Στον «καθαρισμό» των σαρώσεων, δηλαδή την αφαίρεση περιττών στοιχείων και θορύβου από τα νέφη σημείων, σημαντικό ρόλο έπαιξαν η καθαρότητα της ατμόσφαιρας και τα οπτικά εμπόδια. Ιδιαίτερα τα οπτικά εμπόδια, όπως ήταν το φύλλωμα του δέντρου και χορτάρια περιμετρικά του δέντρου, σε κάποιες περιπτώσεις έκρυβαν τμήματα της επιφάνειας του κορμού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κενών στο πολυγωνικό πλέγμα. Έτσι, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του πολυγωνικού πλέγματος υπήρχαν σημεία όπου η κάλυψη των οπών έγινε πιο προσεγγιστικά με βάση τη μορφή του κορμού γύρω απ'την οπή καθώς επίσης τις φωτογραφίες που λήφθηκαν παράλληλα με τη σάρωση.

Η σύγκριση του τελικού πολυγωνικού πλέγματος με το νέφος σημείων πάνω στο οποίο βασίστηκε δεν έδειξε μεγάλες αποκλίσεις (η μέση απόκλιση ήταν 1,35 mm) παρά μόνο σε σημεία όπου προστέθηκε υλικό στο πλέγμα όταν στο νέφος υπήρχαν κενά. Μεγάλα κενά που είχαν δημιουργηθεί στο εσωτερικό κομμάτι των ριζών έπρεπε να καλυφθούν προκειμένου να μπορέσει να ολοκληρωθεί το μοντέλο, ενώ τα κλαδιά ήταν αναγκαίο να «κοπούν» ύστερα από ένα συγκεκριμένο ύψος, πέρα απ'το οποίο δεν ήταν καθαρή η ορατότητα. Σε τέτοιες περιοχές του εικονικού μοντέλου οι αποκλίσεις κυμαίνονταν από -178.28 mm έως 216.99 mm, που, όπως είναι κατανοητό, αύξανε τη μέση απόκλιση και την τυπική απόκλιση (24.78 mm).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την τελική εμφάνιση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν αποχρώσεις βασισμένες στο πραγματικό χρώμα της Μνημειακής Ελιάς και για την καλύτερη παρουσίαση του σε διαδικτυακές δραστηριότητες διάδοσης δημιουργήθηκε ένα animation. Από επιστημονική άποψη, επίσης, ήταν πλέον δυνατό να ληφθούν ακριβείς μετρήσεις μεγεθών, όπως η εσωτερική και εξωτερική διάμετρος της ελιάς σε οποιοδήποτε ύψος και ο όγκος του κορμού, ειδικά σε σχέση με τις συμβατικές ανακριβείς και προσεγγιστικές τιμές που υπήρχαν μέχρι σήμερα.

Η παραπάνω διαδικασία θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε άλλα μνημειακά δέντρα, όπως αυτά που υπάρχουν στον κατάλογο του Wikipedia με τα αρχαιότερα δέντρα στον κόσμο.

Μελλοντικές εργασίες που περιλαμβάνουν τη Μνημειακή Ελιά Βουβών και βασίζονται στην τεχνική απεικόνισης της αντίστροφης σχεδίασης, είναι η εκ νέου σάρωση του κορμού του δέντρου μετά από 5 χρόνια για τον υπολογισμό της ανάπτυξης που πραγματοποιήθηκε μέσα σε αυτό το διάστημα. Με αυτόν τον τρόπο θα ληφθούν σημαντικά στοιχεία για τον ακριβέστερο προσδιορισμό της πραγματικής ηλικίας του ελαιόδεντρου, που μέχρι τώρα είναι προσεγγιστική λόγω του ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος των ραδιοϊσοτόπων.

Ολοκληρώνοντας, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η προσπάθεια της ψηφιοποίησης στοιχείων και χώρων πολιτιστικής ή φυσικής κληρονομιάς είναι αρκετά σημαντική, καθώς είναι ένα σύγχρονο μέσο προβολής της ιστορίας και του ανθρώπινου πολιτισμού παγκοσμίως. Αποτελεί ισχυρό μέσο για να διατηρηθεί ζωντανή η κοινωνική κληρονομιά και κουλτούρα, στοιχεία τα οποία μας θυμίζουν πως φτάσαμε μέχρι εδώ και αποτελούν πυλώνες του σύγχρονου κόσμου.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Η Μνημειακή Ελιά Βουβών	3
Σχήμα 1.2: Εσωτερικά της Μνημειακής Ελιάς Βουβών	4
Σχήμα 1.3: Το Μουσείο Ελιάς Βουβών	5
Σχήμα 1.4: Μέτρηση του DBH με χρήση παχύμετρου	6
Σχήμα 1.5: Μνημειακή Ελιά Π.Ρουμάτων	7
Σχήμα 1.6: Μνημειακή Ελιά Βουβών (αριστερά) Μνημειακή Ελιά Πανασού (δεξιά)	8
Σχήμα 2.1: Τρισδιάστατη σάρωση του «Δαβίδ» του Μιχαήλ Άγγελου	9
Σχήμα 2.2: Εναέριο σύστημα LIDAR (αριστερά) Δεδομένα σάρωσης με εναέριο σύστημα LIDAR (δεξιά)	11
Σχήμα 2.3: Επίγειο σύστημα LIDAR με σαρωτή	12
Σχήμα 3.1: Τα βήματα της διαδικασίας ψηφιοποίησης	13
Σχήμα 3.2: Ταξινόμηση Μεθόδων Σύλληψης Γεωμετρικών δεδομένων	14
Σχήμα 3.4: MINOLTA VIVID 910 /VI-910	15
Σχήμα 3.3: ILRIS 3D	15
Σχήμα 3.5: Εμβέλεια και πεδίο σάρωσης ILRIS 3D	15
Σχήμα 3.6: Τα κύρια τμήματα της Minolta Vivid 910	16
Σχήμα 3.7: Σάρωση Μνημειακής Ελιάς Βουβών	17
Σχήμα 3.8: Χειροκίνητη επιλογή και διαγραφή περιττών σημείων	18
Σχήμα 3.9: Χειροκίνητη Επιλογή	19
Σχήμα 3.10: Select Disconnected (αριστερά) Select Outliers (δεξιά)	19
Σχήμα 3.11: Μνημειακή Ελιά Βουβών (αριστερά) και η αναπαράσταση της σε μορφή νέφους σημείων (δεξιά)	21
Σχήμα 3.12: Νέφος σημείων πριν την επεξεργασία (αριστερά) και μετά (δεξιά)	22
Σχήμα 3.13: Η λογική της μείωσης σημείων χρησιμοποιώντας Uniform Sample	22
Σχήμα 3.14: Ενοποίηση δύο όψεων	24
Σχήμα 3.15: Θέση των ενοποιημένων όψεων στην εσωτερική επιφάνεια	24
Σχήμα 3.16: Ενοποίηση της πρώτης και δεύτερης εξωτερική σάρωσης	25
Σχήμα 3.17: Ενοποίηση της πρώτης και δεύτερης εξωτερική σάρωσης με την Τρίτη (Δημιουργία του Group 1)	26
Σχήμα 3.18: Δημιουργία του Group 2	27

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.19: Ενωση των Group 1 (ένδεκα σαρώσεις) και Group 2 (έξι σαρώσεις)	28
Σχήμα 3.20: Ενωση των Group 1 και Group 2 με το Group 3 (επτά σαρώσεις)	29
Σχήμα 3.21: Ενωση των Group 1, 2, 3 με το Group 4 (τέσσερις σαρώσεις).....	30
Σχήμα 3.22: Ενωση των Group 1, 2, 3, 4 με το Group 5 (επτά σαρώσεις)	31
Σχήμα 3.23: Ενωση του Group 4 με το Group 5 (εσωτερικής επιφάνειας).....	32
Σχήμα 3.24: Ενωση του Group 4 και 5 με το Group 6 (εσωτερικής επιφάνειας)	33
Σχήμα 3.25: Ενοποίηση των σαρώσεων εξωτερικής επιφάνειας της Ελιάς Βουβών	34
Σχήμα 3.26: Ενοποίηση σαρώσεων εσωτερικής επιφάνειας της Ελιάς Βουβών.....	34
Σχήμα 3.27: Πίνακας αποτελεσμάτων της διαδικασίας Global Registration	35
Σχήμα 3.28: Πίνακας αποτελεσμάτων της διαδικασίας Global Registration για την εξωτερική επιφάνεια	36
Σχήμα 3.29: Πίνακας αποτελεσμάτων της διαδικασίας Global Registration για την εσωτερική επιφάνεια	37
Σχήμα 3.30: Εφαρμογή εντολής Noise Reduction για την εσωτερική επιφάνεια	38
Σχήμα 3.31: Εφαρμογή εντολής Noise Reduction για την εσωτερική επιφάνεια (Χρωματική απεικόνιση των αποκλίσεων)	39
Σχήμα 3.32: Εφαρμογή εντολής Noise Reduction για την εσωτερική επιφάνεια (Εγχρωμη απεικόνιση των αποκλίσεων)	40
Σχήμα 3.33: Ενωση εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας	42
Σχήμα 3.34: Μείωση Θορύβου (Reduce Noise) στο Ενιαίο Νέφος Σημείων	43
Σχήμα 3.35: Μετατροπή σε Πολυγωνικό Πλέγμα (Wrap).....	45
Σχήμα 3.36: Μετατροπή σε Πολυγωνικό Πλέγμα (Wrap).....	46
Σχήμα 3.37: Αλληλοεπικαλυπτόμενες Επιφάνειες.....	47
Σχήμα 3.38: Ατέλειες λόγω μειωμένης ορατότητας	48
Σχήμα 3.39: Εφαρμογή εντολής καθαρισμού (Clean)	49
Σχήμα 3.40: Εφαρμογή εντολής αφαίρεση αιχμών (Remove Spikes)	49
Σχήμα 3.41: Εφαρμογή εντολής χαλάρωσης (Relax).....	50
Σχήμα 3.42: Μενού εντολής κάλυψης οπών	51
Σχήμα 3.43: Αυτόματη κάλυψη οπής (το μάλωμα έχει κόκκινο χρώμα).....	52
Σχήμα 3.44: Κάλυψη οπής μεταξύ ορίων (το μάλωμα θα γίνει ανάμεσα στα όρια της πράσινης γραμμής που ορίζεται απ' τα σημεία 1 και 2)	53
Σχήμα 3.45: Κάλυψη οπής με τη δημιουργία γέφυρας μεταξύ δύο άκρων	54
Σχήμα 3.46: «Τυφλό» σημείο στο εσωτερικό της Ελιάς Βουβών κοντά στις ρίζες	55

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.47: Κάλυψη οπής (πρώτη εικόνα) με curvature based filling (δευτερη εικόνα) και flat filling (τελευταία εικόνα)	56
Σχήμα 3.48: Εφαρμογή εντολής Section by Plane	57
Σχήμα 3.49: Άποψη τρισδιάστατου μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών	58
Σχήμα 3.50: Άποψη τρισδιάστατου μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών	59
Σχήμα 3.51: Άποψη τρισδιάστατου μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών	60
Σχήμα 3.52: Άποψη τρισδιάστατου μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών απο πάνω	61
Σχήμα 3.53: Σύγκριση πραγματικού δέντρου με το τρισδιάστατο μοντέλο	62
Σχήμα 3.54: Σύγκριση πραγματικού δέντρου με το τρισδιάστατο μοντέλο	63
Σχήμα 3.55: Τρισδιάστατη Σύγκριση Νέφους Σημείων και Πολυγωνικού Πλέγματος	64
Σχήμα 3.56: Τρισδιάστατη Σύγκριση Νέφους Σημείων και Πολυγωνικού Πλέγματος	65
Σχήμα 3.57: Τρισδιάστατη Σύγκριση Νέφους Σημείων και Πολυγωνικού Πλέγματος	66
Σχήμα 3.58: Τρισδιάστατη Σύγκριση Νέφους Σημείων και Πολυγωνικού Πλέγματος	67
Σχήμα 3.59: Διαβαθμίσεις χρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν πάνω στο μοντέλο της ελιάς	68
Σχήμα 3.60: Προβολή εικόνας πάνω στον κορμό	69
Σχήμα 3.61: Προβολή εικόνας πάνω στον κορμό	70
Σχήμα 3.62: Πριν την εφαρμογή του χρώματος και μετά την εφαρμογή του βασικού χρώματος σε όλο τον κορμό	71
Σχήμα 3.63: Τελική μορφή και εμφάνιση του τρισδιάστατου μοντέλου της Μνημειακής Ελιάς Βουβών	72
Σχήμα 4.1: Η ιστοσελίδα του Μουσείου Ελιάς Βουβών	73
Σχήμα 4.2: Λήψη φωτογραφιών της Ελιάς Βουβών μέσω του λογισμικού Geomagic Studio 10	74
Σχήμα 4.3: σύνθεση του animated GIF χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Jasc Animation Shop 3	75
Σχήμα 4.4: Χρήση του animated GIF απο την ιστοσελίδα του Μουσείου Ελιάς Βουβών	75
Σχήμα 4.5: Εφαρμογή της εντολής Curves by Section	76
Σχήμα 4.6: Υπολογισμός μέγιστης εξωτερικής διαμέτρου σε ύψος 1,3 m (DBH)	77
Σχήμα 4.7: Υπολογισμός μέγιστης εσωτερικής διαμέτρου σε ύψος 1,3 m (DBH)	78
Σχήμα 4.8: Τρισδιάστατος εκτυπωτής Dimension Stratasys 3D printer	83
Σχήμα 4.9: Όψεις του εκτυπωμένου αντίγραφου της Ελιάς Βουβών	84

Ξένη Βιβλιογραφία

1. Du, Z., Wang, T., Liu, G., (October 11-15, 2009, Kyoto, Japan). Detail-preservation 3-D modelling for elaborate Buddha sculpture. 22nd CIPA Symposium.
2. Hopkinson, C., Chasmer, L., Young-Pow, C., & Treitz, P. (2004). Assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar. *Can. J. For. Res.*, 34, pp. 573-583.
3. Ke, Y., Fan, S., Zhu, W., Li, A., Liu, F., Shi, X., (2006). Feature-based reverse modeling strategies. *Computer-aided Design - CAD* 38, pp. 485-506
4. Moorthy, I., Miller, J. R., Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. , Hu, B., Chen, J. (2011). Field characterization of olive (*Olea europaea* L.) tree crown architecture using terrestrial laser scanning data. *Agricultural and Forest Meteorology* 151 pp. 204–214
5. Omasa, K., Hosoi, F., & Konishi, A. (2007). 3D lidar imaging for detecting and understanding plant responses and canopy structure. *Journal of Experimental Botany*, 58(4), pp. 881-898.
6. Pavlidis, G., Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., Tsioukas, V., Chamzas, C., (2007). Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. *Journal of Cultural Heritage* 8, pp. 93-98
7. Rizzi, A., Remondino, F., Girardi, S., Gonzo, L., (2007). Optical measurement techniques for the digital preservation, documentation and analysis of cultural heritage. *VIII Conference on Optical 3D Measurement Techniques - Gruen/Kahmen (Eds), Vol.2.*, pp. 16-24
8. Várady, T., Martin, R.R., Cox, J., (1997). Research Reverse engineering of geometric models-an introduction. *Computer-aided Design - CAD* 29, pp. 255-268
9. Zhang, L. , Lu, H. (2009). The Research on the Application of Laser Scanning Measurement Technology in Forestry. 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2009. pp. 4490-4494

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Μπιλάλης, Ν., Μαραβελάκης, Ε., Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση. (2009)

Πηγές απ'το διαδίκτυο

1. IPET : <http://www.ipet.gr/digitech2/>
2. Minolta: <http://www.konicaminolta.com/instruments/products/3d/non-contact/vivid910/index.html>
3. MNN: <http://www.mnn.com/earth-matters/wilderness-resources/photos/the-worlds-10-oldest-living-trees/olive-tree-of-vouves>
4. Optech: <http://www.optech.ca/i3dprodline-ilris3d.htm>
5. Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Olive_tree_of_Vouves