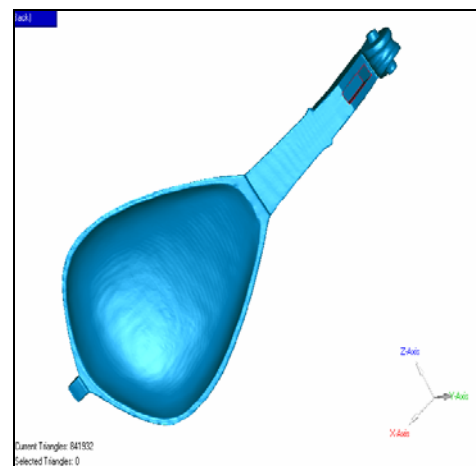
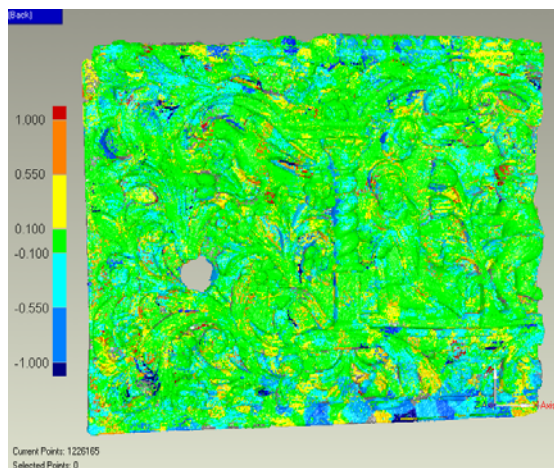


Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΘΕΜΑ: ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ
ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ**

Επιβλέπων Καθηγητής: Μπιλάλης Νικόλαος

Λούτας Δημήτριος
A.M. 200010030

Ευχαριστώ θερμά τον κo Μπιλάλη Νικόλαο και τον κo Μαραβελάκη Εμμανουήλ για την βοήθειά τους και την άμεση ανταπόκριση τους κάθε φορά που χρειάστηκα βοήθεια στο συγκεκριμένο αντικείμενο της διπλωματικής μου εργασίας.

A. ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	4
1. Εισαγωγή στην τρισδιάστατη ψηφιοποίηση	4
1.1 Εισαγωγή	4
1.2 Ορισμός τρισδιάστατης σάρωσης.....	7
1.3 Αντίστροφη μηχανική	9
1.3.1 Ορισμός	9
1.3.2 Πλεονεκτήματα.....	11
1.3.3. Εφαρμογές	13
1.4 Γενικές τεχνικές γνώσεις	16
1.4.1 Τρισδιάστατη όραση υπολογιστών	16
1.4.2 Αναπαράσταση τρισδιάστατων επιφανειών	17
1.4.2.1 Χάρτης βάθους	17
1.4.2.2 Νέφος σημείων	17
1.4.2.3 Πολυγωνικό – τριγωνικό πλέγμα	18
1.4.2.4 Ογκομετρικά εικονοστοιχεία	19
1.4.3 Συστήματα τρισδιάστατης οπτικής αναπαράστασης	20
2. Μεθοδολογίες τρισδιάστατης σάρωσης.....	22
2.1 Αναλυτική τεχνολογική ανασκόπηση	26
2.1.1 Τεχνικές ψηφιοποίησης μικροσκοπικών αντικειμένων.....	27
2.1.2 Τεχνικές ψηφιοποίησης μικρών αντικειμένων	30
2.1.3 Τεχνικές ψηφιοποίησης αντικειμένων μεσαίου μεγέθους	31
2.1.4 Τεχνικές ψηφιοποίησης αντικειμένων μεγάλου μεγέθους.....	37
2.2 Περιγραφή Εξοπλισμού.....	39
3. Διαδικασίες τρισδιάστατης αποτύπωσης κινητών πολιτιστικών αντικειμένων	45
3.1 Εισαγωγή	45
3.2 Σύλληψη γεωμετρικών δεδομένων.....	48
3.3 Προ-επεξεργασία γεωμετρικής πληροφορίας.....	49
3.4 Φιλτράρισμα του θορύβου στο νέφος σημείων	49
3.5 Ομαδοποίηση και οργάνωση των δεδομένων	51
3.6 Ευθυγράμμιση και ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων	51
3.7 Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος (meshing)	54
3.8 Απλοποίηση του πολυγωνικού πλέγματος.....	54
3.9 Απαλοιφή γεωμετρικών ασυνεχειών	59
3.10 Δημιουργία υφής.....	60
B. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	62
4 Περιγραφή του Raindrop Geomagic Studio 7	62
a) Καθαρισμός σημείων	67
b) Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος (Wrap).....	71
c) Κλείσιμο κενών και οπών (Fill holes)	72
d) Λειτουργία Defeature	72
e) Λειτουργία Sandpaper	72
f) Μείωση τριγώνων (Decimate).....	73
g) Λειτουργίες Manifold και Intersections	73
h) Δημιουργία επιφανειών Nurbs.....	74
5 Επεξεργασία τέμπλου με τη χρήση του Geomagic Studio 7	75

a) Φάση σημείων (Point Phase)	77
i. Καθαρισμός θορύβου	77
ii. Διαδικασία ευθυγράμμισης.....	94
iii. Διαδικασία τριγωνοποίησης / πολυγωνοποίησης.....	121
b) Φάση Πολυγώνων	127
i. Καθαρισμός πολυγωνικού πλέγματος.....	127
ii. Γέμισμα κενών και διόρθωση ασυνεχειών	132
iii. Έλεγχος για intersections και κλείσιμο της πίσω επιφάνειας του τέμπλου	140
iv) Αναδημιουργία διακοσμητικού τμήματος του τέμπλου.....	151
c) Τελική μορφή.....	162
i. Διαδικασία 3D Compare Analysis.....	162
Γενικές Παρατηρήσεις	178
6 Επεξεργασία μουσικής λύρας με τη χρήση του Geomagic Studio 7.....	183
Κυρίως τμήμα λύρας	184
a) Φάση σημείων (Point Phase)	184
b) Φάση Πολυγώνων	198
c) Τελική μορφή.....	211
Καπάκι λύρας.....	223
a) Φάση σημείων (Point Phase)	223
b) Φάση Πολυγώνων	230
c) Τελική μορφή.....	231
Βιβλιογραφία	232

A. ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1. Εισαγωγή στην τρισδιάστατη ψηφιοποίηση

1.1 Εισαγωγή

Η επιθυμία αποτύπωσης αντικειμένων και σχημάτων με οπτικά μέσα χρονολογείται στις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Στην ίδια χρονική περίοδο συναντούμε τις ρίζες της φωτογραφικής τέχνης. Από τότε η τεχνολογία αποτύπωσης με οπτικά μέσα έχει προχωρήσει με ραγδαίους ρυθμούς. Αυτή την τεχνολογική εξέλιξη την βιώνουμε πλέον καθημερινά.

Φανταστείτε ένα μοντέρνο γραφείο. Ένας τυπικός σαρωτής εγγράφων αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι του καθώς επιτρέπει την γρήγορη και αποτελεσματική ψηφιοποίηση οποιουδήποτε εγγράφου. Εξετάστε τώρα την ιδέα ψηφιοποίησης για αντικείμενα τριών διαστάσεων. Η διαδικασία απόκτησης τρισδιάστατων δεδομένων από πραγματικά αντικείμενα αποτελεί μείζων πρόβλημα ιδιαίτερα όταν η γεωμετρική τους πολυπλοκότητα ξεπερνά πρότυπα αντικείμενα (πως σφαίρες, πυραμίδες, κύβοι). Παλαιότερα, η επίλυση του προβλήματος ήταν δύσκολη και οι τρόποι προσέγγισης χρονοβόροι.

Όλα τα εμπορικά, αλλά και ερευνητικά, συστήματα που συλλέγουν τρισδιάστατες συντεταγμένες από μια δεδομένη περιοχή της επιφάνειας ενός αντικειμένου με έναν συστηματικό ή αυτοματοποιημένο τρόπο θεωρούνται τρισδιάστατοι σαρωτές. Η ανάπτυξη ισχυρών υπολογιστικών συστημάτων και ψηφιακών μετρικών διατάξεων κατάφεραν να καθιερώσουν μια συνεχώς εξελίξιμη αγορά τρισδιάστατων σαρωτών. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την καταγραφή γεωμετρικής και χρωματικής πληροφορίας που φέρουν τα αντικείμενα μέσα σε ελάχιστο χρόνο. Οι αρχές λειτουργίας τους βασίζονται στην εφαρμογή γεωμετρικών αξιωμάτων και συναρτήσεων. Πρότυπα ακαδημαϊκά αλλά και εμπορικά συστήματα επιδιώκουν να δώσουν απάντηση στην τρισδιάστατη αποτύπωση, το καθένα από τη δική του σκοπιά, κάνοντας συγκεκριμένες παραδοχές.

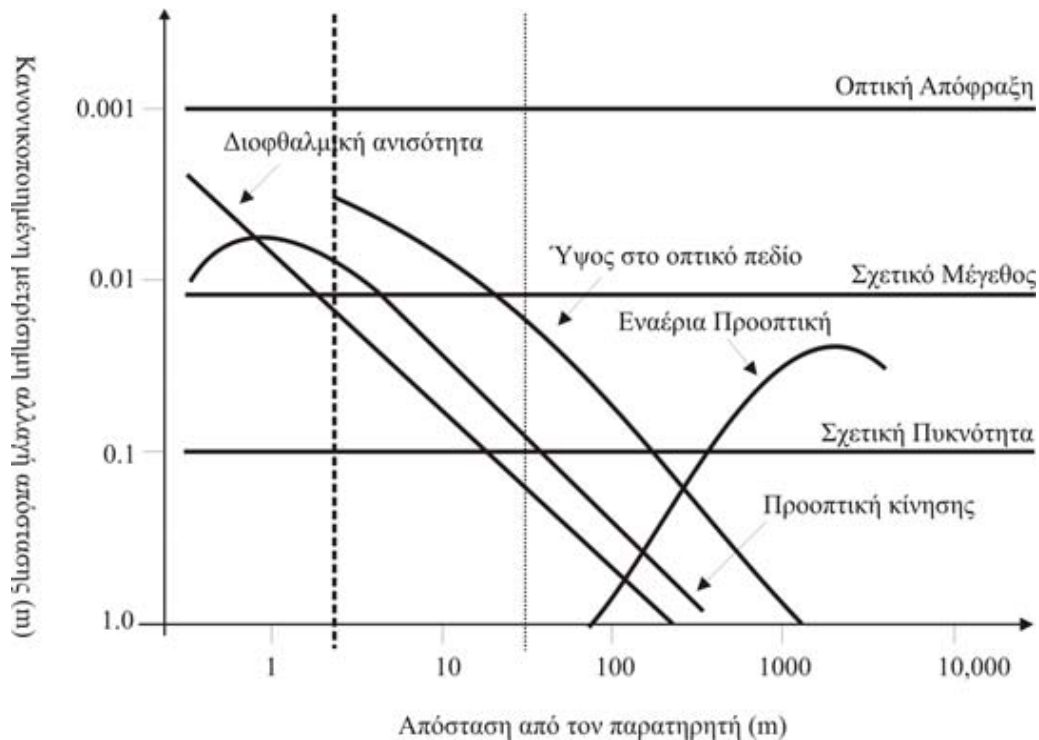
Το μεγάλο ενδιαφέρον της παγκόσμιας ερευνητικής κοινότητας εστιάζεται στην ανάλυση των μεθόδων αποτύπωσης αλλά και στην ανάπτυξη αλγορίθμων που θα επιτρέψουν την επεξεργασία των δεδομένων με αποδοτικότερους τρόπους. Η ανάπτυξη των τρισδιάστατων σαρωτών είναι αποτέλεσμα συλλογικής δουλείας επιστημόνων από διαφορετικά ερευνητικά πεδία, όπως είναι αυτά της όρασης υπολογιστών, των τρισδιάστατων γραφικών, της μηχανολογίας, των μετρήσεων με ηλεκτρονικά αισθητήρια, της φωτογραμμετρίας και, φυσικά, των μαθηματικών. Βασικό ρόλο στην αύξηση της δημοτικότητας των τρισδιάστατων σαρωτών παίζει η δραματική βελτίωση των υπολογιστών στον τομέα των τρισδιάστατων γραφικών πραγματικού χρόνου. Η δυνατότητα διαχείρισης πολύπλοκης τρισδιάστατης γεωμετρίας σε πλατφόρμες χαμηλού κόστους βρίσκει άμεση εφαρμογή στην απεικόνιση λεπτομερών και υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατων μοντέλων που δημιουργούν οι σαρωτές.

Η ψηφιοποίηση αντικειμένων με τρισδιάστατους σαρωτές είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται σήμερα με ένα πλήθος διαφορετικών μεθόδων. Απώτερος σκοπός όλων των ερευνητικών προσπαθειών είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου αποτύπωσης σε συνδυασμό με υψηλής πιστότητας αποτελέσματα. Διαφορετικές τεχνολογικές λύσεις έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση αντικειμένων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως επιφάνειες με υψηλή ανακλαστικότητα, χρωματική ποικιλία, γεωμετρική πολυπλοκότητα κ.α. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της κάθε τεχνικής είναι το βασικότερο κριτήριο για τις εταιρίες ανάπτυξης εμπορικών τρισδιάστατων ψηφιακών σαρωτών.

Ένα μεγάλο τμήμα του συνόλου των εμπορικών σαρωτών βασίζονται στην τριγωνοποίηση με ακτίνες λέιζερ και αυτό γιατί επιτυγχάνει γεωμετρικά αποτελέσματα υψηλότερης ακρίβειας, που φτάνουν και σε επίπεδα πολύ μικρότερα του 1 mm. Εκτός από την ακρίβεια υπάρχουν και άλλα κριτήρια για την επιλογή της καταλληλότερης μεθοδολογίας. Ένα από αυτά είναι η ταχύτητα σάρωσης. Άλλες δημοφιλείς μέθοδοι είναι οι Σχήμα-Από-Σιλουέτες, Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως αλλά και χειροκίνητες μέθοδοι, όπως ρομποτικοί βραχίονες με αισθητήρες αφής που συνεχίζουν ακόμα και σήμερα να

εξυπηρετούν τις ανάγκες κάποιων εφαρμογών. Για παράδειγμα η μέθοδος Σχήμα-Από-Σιλουέτες προσεγγίζει την ιδέα σάρωσης με το πάτημα ενός πλήκτρου. Ωστόσο τα αποτελέσματά της έχουν εφαρμογή κυρίως στο ηλεκτρονικό εμπόριο όπου μια απλά ρεαλιστική και όχι υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατη απόδοση του αντικείμενου είναι επαρκής.

Οι εφαρμογές που σχετίζονται με την τεκμηρίωση πολιτισμικής κληρονομιάς βρίσκουν λύση κυρίως σε συστήματα με αυτές τις μεθοδολογίες και διαχωρίζονται σε αυτά των κοντινών και μεσαίων αποστάσεων. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι αυτή που ορίζει κάθε φορά τον μέγιστο δυνατό όγκο σάρωσης αλλά και τις μέγιστες αποστάσεις ανάμεσα στους αισθητήρες και στις επιφάνειες των αντικειμένων. Οι Cutting και Vishton έκαναν μια μελέτη στους τρόπους αντίληψης του βάθους που εξαρτώνται από την πληροφορία του οπτικού πεδίου και παίζουν σημαντικό ρόλο σε συστήματα αντίληψης βάθους. Καθώς ένα πλήθος εφαρμογών ανακατασκευής τρισδιάστατων μοντέλων προέρχεται από τον χώρο της όρασης υπολογιστών η μελέτη των Cutting και Vishton έχει απόλυτη εφαρμογή στον συγκεκριμένο χώρο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το παρακάτω συγκεντρωτικό γράφημα (Εικόνα 1.1) που περιγράφει τους περιορισμούς που εμφανίζονται κατά την αντίληψη του βάθους καθώς αυξάνεται η απόσταση των αντικειμένων από τον παρατηρητή.



Εικόνα 1.1 Κανονικοποιημένη αποτελεσματικότητα διαφορετικών ενδείξεων βάθους

Το γράφημα αυτό αντικατοπτρίζει τους περιορισμούς που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι τρισδιάστατοι σαρωτές και οι τεχνικές που περιγράφονται.

Στο σημείο αυτό, θα ήταν χρήσιμο να ορίσουμε ως κινητά πολιτιστικά αντικείμενα όλα τα αντικείμενα της πολιτιστικής κληρονομιάς των οποίων οι διαστάσεις τους κυμαίνονται από κάποια εκατοστά έως και μερικά μέτρα. Ο όρος «κινητά» δεν αφορά πάντα στην ιδιότητα του αντικειμένου να δύναται να μετακινηθεί αλλά έχει να κάνει και με την κατηγοριοποίησή του βάση της εφαρμοσιμότητας που έχουν συγκεκριμένες μεθοδολογίες αποτύπωσης.

1.2 Ορισμός τρισδιάστατης σάρωσης

Η ποικιλία των διαφορετικών μεθόδων υπολογισμού των τρισδιάστατων συντεταγμένων της επιφάνειας ενός αντικειμένου έχει οδηγήσει σε μια άστοχη φιλονικία για το αν τελικά η Τρισδιάστατη Σάρωση, ως έννοια, ανήκει στις γεωδαιτικές μελέτες ή στην φωτογραμμετρία και την όραση υπολογιστών. Βλέποντας όμως το θέμα από την πλευρά του χρήστη το αποτέλεσμα είναι αυτό που μετράει ανεξάρτητα της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε.

Τρισδιάστατη σάρωση ή ψηφιοποίηση (digitization or 3 dimensional scanning), είναι η διαδικασία τρισδιάστατης σάρωσης φυσικών αντικειμένων για την εξαγωγή των απαιτούμενων δεδομένων με τη χρήση προηγμένων τεχνολογικά συστημάτων. Πολλές διαφορετικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της. Κυμαίνονται από μηχανικές και πολύ αργές, μέχρι υψηλά αυτοματοποιημένες, βασισμένες στην εκπομπή ακτινοβολίας. Κάθε τεχνολογία έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της και διαφορετικό εύρος εφαρμογών. Αυτό που τελικά εξάγεται σε κάθε περίπτωση είναι μια περιγραφή του φυσικού αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο, η οποία ονομάζεται νέφος σημείων.

Γενικότερα, ως τρισδιάστατο σαρωτή θα μπορούσαμε να ορίσουμε οποιαδήποτε συσκευή δύναται να συλλέξει τρισδιάστατες συντεταγμένες από μία δεδομένη περιοχή πάνω στην επιφάνεια ενός αντικειμένου, η οποία πληροί τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ακολουθεί μια αυτοματοποιημένη διαδικασία που βασίζεται σε κάποιο πρότυπο
- Πραγματοποιεί δειγματοληψία υψηλού ρυθμού (εκατοντάδες ή χιλιάδες σημεία ανά δευτερόλεπτο)
- Επιταχύνει τη διαδικασία, ώστε να πραγματοποιείται σε πραγματικό (σχεδόν) χρόνο
- Δύναται ή και όχι να διακρίνει χρωματική πληροφορία της εκάστοτε επιφάνειας σε συνδυασμό με την τρισδιάστατη γεωμετρία της.

Ο τρόπος χρήσης μιας τέτοιας συσκευής είναι:

- είτε σταθερός σε κάποια συγκεκριμένη θέση
- είτε πάνω σε κάποιον κλασικό, φωτογραφικού τύπου, τρίποδα
- είτε σε παρόμοιες μεταφερόμενες βάσεις
- είτε εν πτήση όταν πρόκειται για τοπογραφικές εφαρμογές.

Η σάρωση ενός αντικειμένου είναι πολλές φορές το εύκολο τμήμα μιας εργασίας ψηφιοποίησης. Η δημιουργία πιστών τρισδιάστατων αναπαραστάσεων που αποτελούνται από ακανόνιστες επιφάνειες απαιτούν

συνήθως πολύ χρόνο και εργασία. Η τρισδιάστατη σάρωση είναι ένα σημαντικό νέο εργαλείο για την τεκμηρίωση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Ως λύση, δεν αποτελεί πανάκεια, όπως πολλοί υποστηρίζουν (κυρίως οι εταιρίες ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων). Χωρίς αμφιβολία οι τρισδιάστατοι σαρωτές ταιριάζουν απόλυτα σε εφαρμογές μετρήσεων ανώμαλων επιφανειών και πιθανότατα να είναι και η καλύτερη διαθέσιμη μέθοδος την παρούσα στιγμή. Ωστόσο η αμιγής και μόνο συλλογή δεδομένων δεν είναι επαρκής. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί και στην μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων. Ο χρόνος που απαιτείται για την δημιουργία ενός υψηλής πιστότητας τρισδιάστατου μοντέλου είναι πολλές φορές πολύ μεγαλύτερος από τον χρόνο σάρωσης.

1.3 Αντίστροφη μηχανική

1.3.1 Ορισμός

Η παραγωγή προϊόντων σε βιομηχανική κλίμακα βασίζεται στην οπτική απεικόνιση με χρήση υπολογιστή για την αρχική σχεδίαση των προϊόντων. Το σύγχρονο ανταγωνιστικό πλαίσιο της αγοράς υποχρεώνει τις εταιρείες να εγκαταλείψουν τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδίασης και να στραφούν σε νέες τεχνολογίες, οι οποίες διαθέτουν μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα και αποδίδουν αποτελέσματα καλύτερης ποιότητας. Μία από τις μεθόδους, η οποία συνεχώς κερδίζει έδαφος στη διαδικασία παραγωγής είναι η αντίστροφη σχεδίαση.

Αντίστροφη σχεδίαση (reverse engineering) γενικά, είναι η διαδικασία δημιουργίας ακριβούς αντίγραφου ενός προϊόντος ή τμήματός του χωρίς τη χρήση γεωμετρικών σχεδίων ή μετρήσεων, εργαλεία τα οποία χρησιμοποιεί η συμβατική σχεδίαση. Στηρίζεται στην αποσυναρμολόγηση ενός προϊόντος στα επιμέρους συστατικά του τμήματα (components), προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος σχεδιασμού του από το αρχικό στάδιο μέχρι το τελικό προϊόν. Κύριος στόχος είναι η πλήρης κατανόηση της διαδικασίας, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ενός δεδομένου σχεδιασμού και στη

συνέχεια η χρησιμοποίηση της αποκτούμενης γνώσης για μερικό ή ολικό επανασχεδιασμό του ίδιου προϊόντος ή μιας βελτιωμένης εκδοχής του.

Η διαδικασία επανασχεδιασμού ξεκινάει με την παρατήρηση του προϊόντος και τη δοκιμή του σε εργαστηριακές συνθήκες. Στη συνέχεια αποσυναρμολογείται και τα επιμέρους εξαρτήματα αναλύονται ως προς το σχήμα, τη μορφή, τη λειτουργικότητα, τις ανοχές συναρμολόγησης και τη μέθοδο κατασκευής τους. Η ανάλυση αυτή οδηγεί στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του προϊόντος και στην παραγωγή ενός βελτιωμένου αντιγράφου του, είτε στο επίπεδο υποσυστήματος (προσαρμοστικό), είτε στο επίπεδο του εξαρτήματος (διαφοροποίηση).

Η αντίστροφη σχεδίαση ξεκίνησε ως διαδικασία αντιγραφής προϊόντων και στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης της αντιμετωπίστηκε με μεγάλη δυσπιστία. Θεωρήθηκε ως μέθοδος η οποία εφαρμόζεται από σχεδιαστές εξαιτίας της έλλειψης έμπνευσης και πρωτοποριακών ιδεών για την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων και σχεδίων. Οι Ιάπωνες πρώτοι εισήγαγαν μεθόδους αντίστροφης σχεδίασης ώστε να βελτιώσουν τα προϊόντα των ανταγωνιστών τους και κατά συνέπεια να εξοικονομήσουν χρόνο και κόπο αποφεύγοντας την κανονική σχεδίαση και συμπιέζοντας τους κύκλους ανάπτυξης κατά την παραγωγή. Η επιτυχία τους στην παραγωγή νέων προϊόντων με τη χρήση της αντίστροφης σχεδίασης την ανάδειξε σε μια πλήρη, αυτόνομη και με άριστα αποτελέσματα σχεδιαστική υπό-επιστήμη και οδήγησε στην αποδοχή της από τον δυτικό κόσμο.

Ειδικότερα, η αντίστροφη σχεδίαση με τη χρήση υπολογιστή, αναφέρεται στη σύλληψη της γεωμετρίας φυσικών αντικειμένων με τη δημιουργία ενός συνόλου ψηφιοποιημένων δεδομένων και στην επεξεργασία των δεδομένων αυτών για τη δημιουργία ενός νέου σχεδιασμού. Το νέο σχέδιο μπορεί να είναι ένα πιστό αντίγραφο του αυθεντικού ή μια εντελώς διαφορετική προσαρμογή του. Κατά την αντίστροφη σχεδίαση έχουμε αντιστροφή της συμβατικής πορείας σχεδίασης από τη σύλληψη μιας ιδέας, στη δημιουργία ενός CAD μοντέλου και του τελικού προϊόντος. Εδώ αφετηρία είναι το τελικό προϊόν και βασική επιδίωξη να αποκαλυφθούν όσο το δυνατόν περισσότερες από τις ιδέες που οδήγησαν στη δημιουργία του. Με αυτό τον

τρόπο, το αρχικό προϊόν μετατρέπεται σε μοντέλο – οδηγό για τη δημιουργία ενός νέου.

1.3.2 Πλεονεκτήματα

Η αντίστροφη σχεδίαση εμφανίζει αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους σχεδίασης. Κατ' αρχήν, η σχεδίαση σε συμβατικά δισδιάστατα λογισμικά CAD προϋποθέτει τη χρήση γεωμετρικών οργάνων για την πραγματοποίηση υπολογισμών και μετρήσεων προκειμένου να υπολογιστούν με ακρίβεια οι διαστάσεις του αντικειμένου που πρόκειται να σχεδιαστεί. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις οι σχεδιαστές αναγκάζονται να δημιουργήσουν πρωτότυπα των αντικειμένων που θέλουν να σχεδιάσουν από διάφορα υλικά (όπως πηλός, ξύλο, καουτσούκ) ώστε να έχουν μια εποπτική εικόνα και να διευκολυνθούν κατά τη σχεδίασή τους. Καθώς τα προϊόντα αποκτούν περισσότερο οργανικό και λεπτομερές σχήμα η πραγματοποίηση αξιόπιστων μετρήσεων και η δημιουργία ακριβούς πρωτοτύπου φαντάζουν αδύνατες. Εξάλλου, ακόμα και για απλά αντικείμενα είναι ιδιαίτερα δύσκολο το CAD μοντέλο να προσεγγίζει επακριβώς το πρωτοτυποποιημένο μοντέλο. Με την εφαρμογή της αντίστροφης σχεδίασης όχι μόνο επιτυγχάνεται ικανοποιητική ακρίβεια στη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου και βελτιώνεται η ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος, αλλά αποφεύγονται και αρκετές ώρες επίπονης εργασίας.

Ένα βασικό προτέρημα της αντίστροφης σχεδίασης είναι η συμπίεση των χρόνων ανάπτυξης κατά την παραγωγή. Στο έντονα ανταγωνιστικό πλαίσιο λειτουργίας της παγκοσμιοποιημένης αγοράς, οι κατασκευαστές συνεχώς αναζητούν νέους τρόπους για τη μείωση του χρόνου εισαγωγής των προϊόντων τους στην αγορά και την εξασφάλιση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών κατασκευής μοντέλων με τη χρήση της ταχείας πρωτοτυποποίησης (rapid prototyping) και συμπληρωματικά του rapid tooling μειώνει το χρόνο κατασκευής μοντέλων κάθε πολυπλοκότητας σε ελάχιστες ώρες. Οι μέθοδοι αυτές, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή, δημιουργούν σταδιακά το μοντέλο με τη μέθοδο στρώμα-στρώμα

προσθέτοντας υλικό και όχι αφαιρώντας. Με τη χρήση αντίστροφης σχεδίασης, ένα προϊόν μπορεί πολύ γρήγορα να αποτυπωθεί σε ψηφιακή μορφή, να επανασχεδιαστεί υπό μορφή τρισδιάστατου μοντέλου και να εξαχθεί για rapid prototyping / tooling. Με τον τρόπο αυτό επιταχύνεται η παραγωγική διαδικασία και αυξάνεται η παραγωγικότητα, ενώ ταυτόχρονα η μείωση του χρόνου παραγωγής οδηγεί και σε μείωση του κόστους των νέων προϊόντων.

Σε αρκετές περιπτώσεις, ο χρόνος που εξοικονομείται με την εφαρμογή της αντίστροφης σχεδίασης επιτρέπει την καθυστέρηση στην έναρξη παραγωγής ενός προϊόντος. Αυτό σημαίνει ότι οι εταιρίες έχουν την ικανότητα να ανταποκριθούν άμεσα σε αλλαγές ή διαφορετικές τάσεις που εκδηλώνονται στην αγορά. Επίσης σημαίνει ότι οι εταιρείες έχουν χρόνο για να επικοινωνήσουν με τους πελάτες. Με αυτό τον τρόπο, οι απαιτήσεις των πελατών λαμβάνονται υπ' όψη και ορισμένα από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των προϊόντων μεταβάλλονται πριν την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας.

Η επαλήθευση ενός προϊόντος είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα κατά την εφαρμογή της αντίστροφης σχεδίασης. Τα αρχικά ψηφιοποιημένα σημεία αντιπαραβάλλονται με την τελική γεωμετρία του μοντέλου που παράγει το σύστημα και οι αποκλίσεις παρουσιάζονται σε γραφική μορφή. Η εξαγωγή πλάνων και διαγραμμάτων του μοντέλου σε όλη τη διάρκεια της αντίστροφης σχεδίασης καθιστούν εφικτή την αρχική επιθεώρηση ενός προϊόντος, τον έλεγχο της ποιότητάς του και την ανίχνευση ελαττωμάτων κατά τη διαδικασία παραγωγής του.

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι επιθυμητή η αναπαραγωγή ενός προϊόντος, για το οποίο δεν υπάρχει επαρκής τεκμηρίωση (τεχνικές προδιαγραφές, σχέδια), η χρήση της αντίστροφης σχεδίασης επιβάλλεται. Τυπικό παράδειγμα αυτής της περίπτωσης είναι ο κατασκευαστής ενός προϊόντος να μην το παράγει πλέον ή να μην υφίσταται, αλλά η ζήτηση του προϊόντος να είναι αρκετά υψηλή. Σε άλλες περιπτώσεις, ο εκσυγχρονισμός ξεπερασμένων προϊόντων καθιστά αναγκαία τη χρήση της αντίστροφης σχεδίασης.

Τέλος, ένα πλεονέκτημα από τη χρήση της αντίστροφης σχεδίασης, το οποίο δεν είναι ιδιαίτερα προφανές αλλά μπορεί να έχει μακροπρόθεσμα οφέλη για μια εταιρεία, είναι ότι με την τρισδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου στον υπολογιστή, πολύπλοκες ιδέες αναπαριστώνται με ακρίβεια και ευκολία.

Οι διαδικασίες παραγωγής ενός αντικειμένου διεκπεραιώνονται από πολλές ομάδες, συχνά εγκατεστημένες σε διαφορετικές περιοχές ανά τον κόσμο. Για παράδειγμα, το σχεδιαστικό τμήμα μιας πολυεθνικής εταιρείας είναι πιθανό να βρίσκεται σε διαφορετική χώρα από ότι το κατασκευαστικό. Το αποτέλεσμα της συνεργασίας όλων αυτών των τμημάτων για την ανάπτυξη μιας ιδέας διευρύνει το πεδίο δράσης τους. Κατά την αντίστροφη σχεδίαση ενός προϊόντος ή ανάλυση, ο έλεγχος ποιότητας και διάφορες άλλες λειτουργίες οι οποίες μέχρι πρότινος εφαρμόζονταν ξεχωριστά, πλέον εξελίσσονται ταυτόχρονα, καθώς τα διάφορα τμήματα μπορούν να δουλέψουν από το ίδιο ψηφιοποιημένο αρχείο. Με αυτό τον τρόπο, η διάρθρωση της παραγωγικής διαδικασίας γίνεται περισσότερο εύκαμπτη και εξασφαλίζεται η άριστη συνεργασία μεταξύ των διαφόρων τμημάτων.

1.3.3. Εφαρμογές

Η αντίστροφη σχεδίαση εμφανίζει ένα αρκετά μεγάλο εύρος εφαρμογών σε αρκετούς τομείς της βιομηχανίας και της ανθρώπινης δραστηριότητας. Στον μηχανολογικό τομέα, πολύπλοκοι μηχανολογικοί εξοπλισμοί καθώς και εξαρτήματα ή συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται στην παραγωγή, αντιγράφονται ψηφιακά και επανασχεδιάζονται ώστε να βελτιωθεί η ποιότητά τους, αφού προηγουμένως καθοριστούν διάφορες χαρακτηριστικές τους ιδιότητες. Για παράδειγμα, ένα καλούπι χύτευσης δεν είναι απλώς το αρνητικό ενός προϊόντος που θα κατασκευαστεί στη συνέχεια. Κατά τη σχεδίασή του πρέπει να συνυπολογιστούν διάφορες φυσικές του ιδιότητες, όπως η ελαστικότητά και η αντοχή του. Σε ένα καλούπι το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί για τη χύτευση ενός προϊόντος, είναι εμφανή τα κακοσχεδιασμένα του τμήματα (στα οποία εμφανίζονται παραμορφώσεις και

θραύσεις ή ρωγμές) καθώς και τα καλά σχεδιασμένα του τμήματα τα οποία έχουν διατηρηθεί ανέπαφα κατά την εφαρμογή της χύτευσης. Με την εφαρμογή αντίστροφης σχεδίασης, αναπαράγουμε όσα τμήματά του εμφανίζουν καλή σχεδίαση και αντικαθιστούμε τα κακοσχεδιασμένα με βελτιωμένες τους εκδοχές.

Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο ρόλος της αντίστροφης σχεδίασης στην αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροναυπηγική. Αρκετά τμήματα αυτοκινήτων ή αεροπλάνων δεν είναι πλέον διαθέσιμα στην αγορά. Τα πρωτότυπα τμήματα κατασκευάστηκαν αρκετές δεκαετίες πριν με χρήση δισδιάστατων σχεδίων. Τα σχέδια αυτά σε αρκετές περιπτώσεις δεν είναι διαθέσιμα, αλλά ακόμη και όταν είναι, η παραγωγή των τμημάτων με βάση αυτά είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία. Έτσι, τα τμήματα αυτά ψηφιοποιούνται και αναδημιουργούνται με τη χρήση αντίστροφης σχεδίασης. Είναι ακόμα δυνατή η κατασκευή φυσικών πρωτοτύπων αυτοκινήτων και των εσωτερικών τους χώρων υπό κλίμακα (scaling) ή στο πραγματικό τους μέγεθος.

Στην αρχιτεκτονική τα μοντέλα σχεδιάζονται αρχικά σε χαρτί, στη συνέχεια ψηφιοποιούνται στον υπολογιστή και παράγονται σε εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου. Προφανώς δε γίνεται λόγος για πλήρη ανακατασκευή ενός κτιρίου, αλλά για παραγωγή μικρών τμημάτων του. Στόχος είναι ο εντοπισμός ατελειών στα πρωτότυπα και η εξάλειψή τους με αναπροσαρμογή των σχεδίων πριν την τελική κατασκευή του μοντέλου. Στον τομέα των πολιτικών μηχανικών, η αντίστροφη σχεδίαση εφαρμόζεται για τη βελτίωση της ποιότητας των δομικών μερών των κατασκευών. Στην περίπτωση αυτή, όπως και στην περίπτωση μηχανολογικών εξοπλισμών, εντοπίζονται τα κακοσχεδιασμένα τμήματα τα οποία παραμορφώνονται από ασκούμενες φορτίσεις και επανασχεδιάζονται. Επιπλέον, επιτυχημένοι σχεδιασμοί γεφυρών και οικοδομημάτων του παρελθόντος αντιγράφονται προκειμένου να μειωθούν οι πιθανότητες κατάρρευσής.

Η αντίστροφη σχεδίαση εφαρμόζεται στην αρχαιολογία και την παλαιοντολογία για την τρισδιάστατη απεικόνιση ψηφιδωτών, τοιχογραφιών και μνημείων με ιδιαίτερα μεγάλη επιτυχία. Η ακριβής αναπαράστασή σε τρισδιάστατο περιβάλλον επιτρέπει την αποστολή τους υπό ψηφιακή μορφή

σε διάφορους ειδικούς αναλυτές σε όλο τον κόσμο για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη διαβρωτική επίδραση που ασκούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες και ο χρόνος. Με την αναδημιουργία άρτιων ψηφιακών μοντέλων διευκολύνεται το έργο των συντηρητών και είναι δυνατή η συμπλήρωση των ελλিপών κομματιών. Είναι επίσης εφικτή η δημιουργία εικονικών μουσείων καθώς και φωτορεαλιστικών τρισδιάστατων προβολών με κείμενο και ήχο. Το ψηφιακό υλικό που δημιουργείται μπορεί να προβληθεί στο διαδίκτυο και σε άλλα πολυμέσα. Στους τομείς της αρχαιολογίας και της παλαιοντολογίας εφαρμόζεται αποκλειστικά η χρήση non-contact σαρωτών για την ψηφιοποίηση, ώστε να αποφευχθεί η επαφή με τα ιδιαίτερα ευπαθή ευρήματα.

Η αντίστροφη σχεδίαση βρίσκει εφαρμογή και στην τέχνη. Αρκετοί καλλιτέχνες προτιμούν να δουλεύουν σε μικρότερο μέγεθος από αυτό της τελικής τους εφαρμογής και στη συνέχεια να ψηφιοποιούν τη δουλειά τους και να τη διαστασιολογούν στο επιθυμητό μέγεθος (scaling). Κατά τη μεγένθυσή του, το καλλιτεχνικό έργο (πίνακας ζωγραφικής, γλυπτό) διατηρεί τις ακριβείς λεπτομέρειες του αρχικού. Με τη χρήση μεθόδων ταχείας πρωτοτυποποίησης είναι εφικτή η παραγωγή του τελικού πρωτοτύπου.

Η αντίστροφη σχεδίαση εφαρμόζεται και στο animation και την παραγωγή παιχνιδιών σε υπολογιστές. Καθοριστικής σημασίας είναι η εφαρμογή της αντίστροφης σχεδίασης στον τομέα της ιατρικής και της παραϊατρικής. Στην οδοντιατρική ψηφιοποιούνται οδοντοστοιχίες ασθενών οι οποίες τροποποιούνται κατάλληλα και εκτελούνται προσομοιώσεις για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου θεραπείας. Ανάλογες είναι και οι εφαρμογές στην ορθοδοντική για την αναπροσαρμογή οδοντοστοιχιών. Στον τομέα της προσθετικής, με χρήση αξονικών τομογράφων και ενός κατάλληλου λογισμικού αντίστροφης σχεδίασης, ψηφιοποιούνται ζωτικά όργανα του ανθρώπινου σώματος και επανασχεδιάζονται. Μέσω της διαδικασίας αυτής εξάγονται πολύτιμες πληροφορίες οι οποίες εφαρμόζονται για τη δημιουργία τεχνητών μελών.

Στην πλαστική χειρουργική, εκτελούνται ψηφιοποιήσεις μελών του ανθρώπινου σώματος πριν και μετά την εφαρμογή της. Με τη σύγκριση των

δεδομένων εξάγονται πολύτιμα συμπεράσματα τα οποία επιτρέπουν τη βελτίωση των μεθόδων.

Τέλος, η εμπορική βιομηχανία έχει αρχίσει εδώ και λίγα χρόνια να αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα της αντίστροφης σχεδίασης. Τυπικά παραδείγματα είναι η βιομηχανία παραγωγής ρούχων και υποδημάτων, στις οποίες με τη χρήση οπτικών scanners καθορίζονται ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού. Με τον τρόπο αυτό, τα προϊόντα εφαρμόζουν καλύτερα στον άνθρωπο και αρκετά χαρακτηριστικά τους εμφανίζονται βελτιστοποιημένα (π.χ. στερεά γεωμετρία σόλας υποδήματος, γεωμετρία κράνους ποδηλάτη).

1.4 Γενικές τεχνικές γνώσεις

1.4.1 Τρισδιάστατη όραση υπολογιστών

Η δισδιάστατη όραση (π.χ. κλασική φωτογράφιση) προσπαθεί να ερμηνεύσει ένα τρισδιάστατο περιβάλλον χρησιμοποιώντας προβολές που δημιουργούνται από τα οπτικά αισθητήρια στις κάμερες (στατικές ή βίντεο). Η δισδιάστατη όραση προσφέρει περιορισμένη πληροφορία σχετικά με τις λεπτομέρειες του σχήματος ενός αντικειμένου. Αντίθετα, η τρισδιάστατη όραση υπολογιστών ασχολείται πρωτίστως με την κατανόηση οπτικής πληροφορίας, όπως αυτή συλλέγεται από εξειδικευμένα ηλεκτρονικά οπτικά αισθητήρια. Συνεπώς, ασχολείται με την εξαγωγή, πρόσκτηση και κατανόηση δεδομένων από την γεωμετρία και την υφή των επιφανειών των αντικειμένων που βρίσκονται μέσα σε μία σκηνή. Ο όγκος της πληροφορίας αυτής είναι τεράστιος καθώς ο πραγματικός κόσμος περιέχει τεράστια γεωμετρική πληροφορία. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τρισδιάστατη όραση παρέχουν άμεσα γεωμετρική πληροφορία ενός αντικειμένου ή ολόκληρου του χώρου εντός του οπτικού πεδίου τους. Η πληροφορία που προσφέρουν οι τρισδιάστατοι αισθητήρες για τα αντικείμενα έχουν να κάνουν με τη θέση τους

στον τρισδιάστατο χώρο. Η πληροφορία αυτή έρχεται να εξαλείψει όλες τις ασάφειες που παρουσιάζουν τα δισδιάστατα συστήματα απεικόνισης.

1.4.2 Αναπαράσταση τρισδιάστατων επιφανειών

1.4.2.1 Χάρτης βάθους

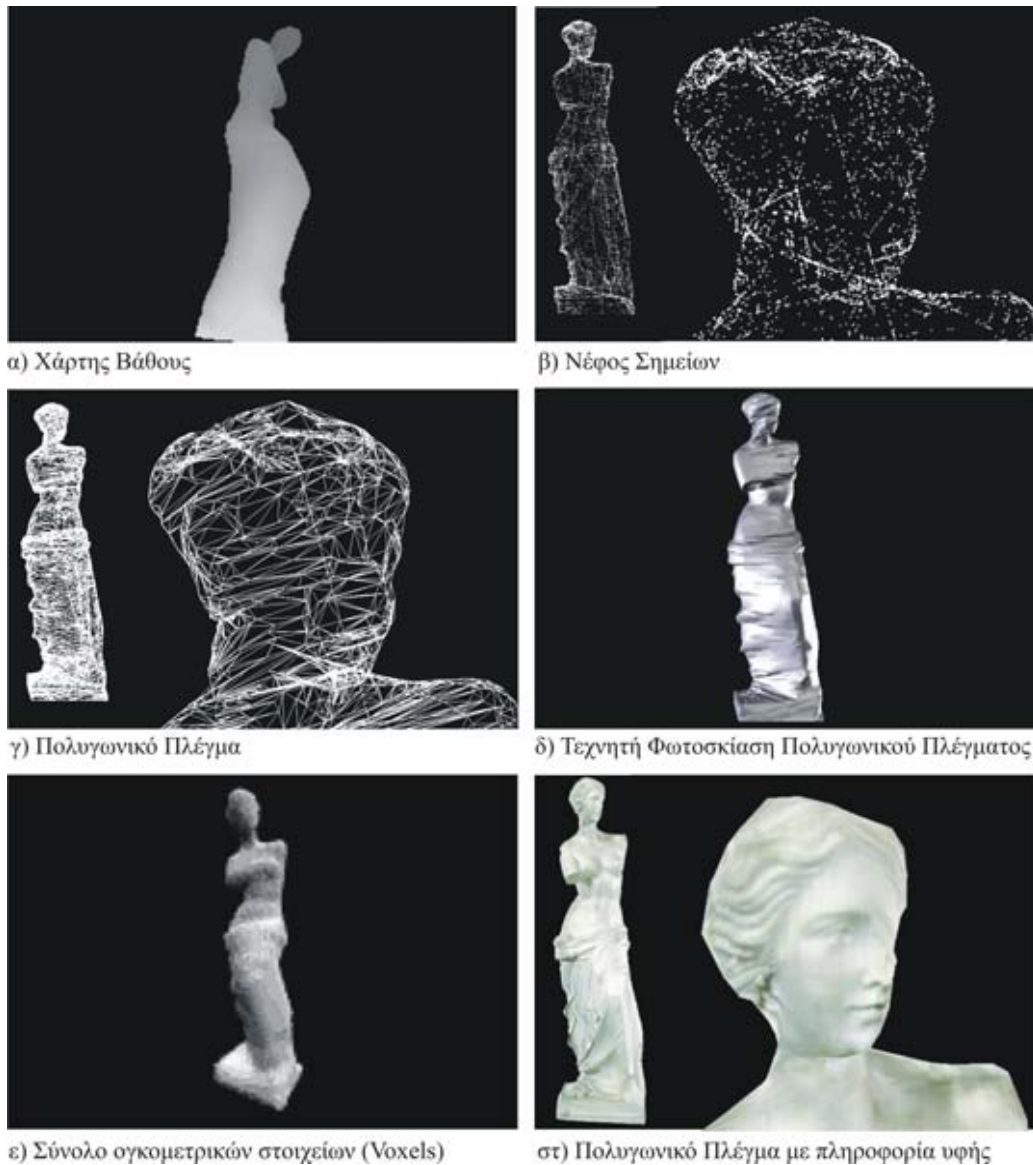
Ο απλούστερος τρόπος αναπαράστασης και αποθήκευσης τρισδιάστατων συντεταγμένων της επιφάνειας ενός αντικειμένου είναι με τη χρήση χαρτών βάθους (depth maps). Ο χάρτης βάθους (Εικόνα 1.2α) είναι μια δισδιάστατη εικόνα βεληνεκούς, όπου κάθε εικονοστοιχείο της παίρνει μια χρωματική τιμή από τις διαβαθμίσεις του γκρι. Η χρωματική τιμή υποδηλώνει την απόσταση του σημείου από τον οπτικό αισθητήρα στον τρισδιάστατο χώρο. Δύο είναι οι πιο γνωστές μεθοδολογίες δημιουργίας χαρτών βάθους: με την εκπομπή σήματος (Radar) και με τριγωνοποίηση.

1.4.2.2 Νέφος σημείων

Ως νέφος σημείων ορίζεται ένα σύνολο σημείων που μοιράζονται το ίδιο τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Μπορεί να αποτελείται από ορισμένα μόνο σημεία ή αρκετά εκατομμύρια. Κάθε σημείο 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). (Εικόνα 1.2β) Ωστόσο, μερικοί σαρωτές, όπως αυτά που εκπέμπουν ακτίνες X , μπορούν να αποτυπώσουν και το εσωτερικό του αντικειμένου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το νέφος σημείων καθορίζει και το εσωτερικό του αντικειμένου και μπορεί να περιγράψει και την πυκνότητά του.

1.4.2.3 Πολυγωνικό – τριγωνικό πλέγμα

Η απόδοση μίας επιφάνειας από ένα πλήθος τριγώνων είναι μια πολύ διαδεδομένη τεχνική για τρισδιάστατες αναπαραστάσεις. Κάθε τρίγωνο ορίζεται από τρεις κορυφές στον χώρο που και αυτές φέρουν πληροφορία θέσης σε κάθε άξονα (x, y, z). Από ένα νέφος σημείων ή ένα χάρτη βάθους δύναται να γίνει η εξαγωγή ενός πολυγωνικού πλέγματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2γ. Με το πολυγωνικό πλέγμα δημιουργούμε μια εικόνα με τεχνητή φωτοσκίαση που απώτερο σκοπό έχει να τονίσει τις λεπτομέρειες της επιφάνειας (Εικόνα 1.2δ). Το πολυγωνικό πλέγμα μπορεί να συνδεθεί με πληροφορία υψής χαρτογραφημένη πάνω σε κάθε τρίγωνο τις επιφάνειας. Το πεδίο που γίνεται η χαρτογράφηση ονομάζεται U.V. Η πιο ρεαλιστική αναπαράσταση είναι αυτή που περιλαμβάνει και την πληροφορία υψής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2στ.



Εικόνα 1.2 Δημοφιλείς μέθοδοι οπτικής αναπαράστασης τρισδιάστατων δεδομένων

1.4.2.4 Ογκομετρικά εικονοστοιχεία

Πολλές φορές, γίνονται αναφορές σε εικονοστοιχεία στον τρισδιάστατο χώρο. Ένα εικονοστοιχείο (pixel από Picture element), σύμφωνα με τον αρχικό ορισμό, αναπαριστά τις χρωματικές ιδιότητες ενός σημείου σε ένα δισδιάστατο χώρο. Στις τρεις διαστάσεις μπορούμε να πούμε πως ένα σημείο αναπαριστά πλέον, άλλοτε σημειακή ή στοιχειώδη επιφάνεια και άλλοτε σημειακό ή στοιχειώδη όγκο (εξ ου και ο διαχωρισμός τους ως στοιχεία επιφάνειας ή surfel από Surface Element και στοιχεία όγκου ή voxel από

Volumetric pixel). Οι δύο αυτές οντότητες εμπεριέχουν και την πληροφορία της τρίτης διάστασης. Το voxel αναπαρίσταται ως ένας «στοιχειώδης» κύβος στον τρισδιάστατο χώρο (Εικόνα 1.2ε), ενώ το surfel αναπαριστά ένα «στοιχειώδες» τμήμα από το φλοιό μιας επιφάνειας. Το surfel απαντάται πολύ σπάνια στο χώρο της τρισδιάστατης αποτύπωσης.

1.4.3 Συστήματα τρισδιάστατης οπτικής αναπαράστασης

Τρισδιάστατα αντικείμενα μπορούν να προβληθούν σε κλασικές-συμβατικές οθόνες υπολογιστών δύο διαστάσεων με τη χρήση στερεοσκοπικών γυαλιών που λειτουργούν με την βοήθεια υγρών κρυστάλλων. Η μέθοδος βασίζεται στην ελεγχόμενη διακοπόμενη πόλωση των κρυστάλλων που βρίσκονται μπροστά από κάθε μάτι. Γνωρίζοντας την αρχική γεωμετρία δημιουργούνται δύο απόψεις με κάποιες γεωμετρικές διαφορές, οι οποίες προβάλλονται στην οθόνη διαδοχικά. Ανάλογα με τον ρυθμό ανανέωσης της εικόνας, το ανθρώπινο μάτι αναμειγνύει τις δύο εικόνες σε μια στερεοσκοπική εικόνα και δημιουργείται η αίσθηση της τρισδιάστατης όρασης. Ως εκ τούτου το αντικείμενο προβάλλεται ακριβώς σαν να βγαίνει από το επίπεδο της οθόνης. Με βάση αυτήν την τεχνική μεγαλύτερα τρισδιάστατα μοντέλα (ολόκληροι εικονικοί χώροι) μπορούν και προβάλλονται. Υπάρχουν, βέβαια, και άλλες τεχνικές προβολής τρισδιάστατων χώρων, όπως αυτή με τα στερεογράμματα (anaglyphs). Σημαντικό στοιχείο στην οπτική αναπαράσταση τρισδιάστατων μοντέλων είναι η δυνατότητα αλληλεπίδρασης που προσφέρεται στον χρήστη. Με τον όρο πραγματικό χρόνο ορίζουμε την δυνατότητα του υπολογιστικού συστήματος να πραγματοποιεί τόσο άμεσα τις εντολές του χρήστη, ώστε το αποτέλεσμα τους να είναι σχεδόν άμεσα εμφανές. Υπάρχουν πολλά προγράμματα στο διαδίκτυο τα οποία προσφέρονται δωρεάν και επιτρέπουν τη μέτρηση των δυνατοτήτων του υπολογιστή και της κάρτα γραφικών που χρησιμοποιεί. Οι μονάδες μετρήσεις που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως το πλήθος των εικόνων ανά δευτερόλεπτο που μπορεί να παρουσιάσει η κάρτα γραφικών σε σχέση με το

πλήθος των τριγώνων που εμφανίζονται σε αυτές τις εικόνες. Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει το πρόβλημα προβολής πολύπλοκων τρισδιάστατων μοντέλων σε διαδραστικό περιβάλλον πραγματικού χρόνου. Αυτός είναι, άλλωστε, και ο στόχος της εικονικής πραγματικότητας. Κάποιες από τις προτεινόμενες και ευρέως χρησιμοποιημένες τεχνικές είναι η ιεραρχική οργάνωση δεδομένων (octrees), τα επίπεδα λεπτομέρειας (level-of-details), η ιεραρχική προβολή, οι επικαλυπτόμενες επιφάνειες και άλλες. Οι Garlick et al. παρουσίασαν την ιδέα χρήσης πολλαπλών επεξεργαστών για τρισδιάστατη οπτική αναπαράσταση σε πραγματικό χρόνο. Οι Airey et al. περιέγραψαν ένα σύστημα που συνδυάζει την τεχνική επιπέδων λεπτομέρειας με την ιδέα των προϋπολογισμένων οπτικών πληροφοριών (σκιές, αντανάκλασεις, κ.τ.λ.).

2. Μεθοδολογίες τρισδιάστατης σάρωσης

Το πλήθος των διαφορετικών μεθοδολογιών προδίδει το μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον για τον συγκεκριμένο χώρο. Από την άλλη, η διαφορετική λύση που προσφέρει η κάθε μεθοδολογία δείχνει την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Σημαντική είναι εδώ η συμβολή αλγορίθμων από τον χώρο της τρισδιάστατης όρασης των υπολογιστών.

Για την πραγματοποίηση της ψηφιοποίησης χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι. Εμείς διαχωρίζουμε τις μεθοδολογίες τρισδιάστατης ψηφιοποίησης σε δύο κατηγορίες (τις οποίες αναλύουμε στη συνέχεια): contact - non-contact και για τις non-contact σε: παθητικές – ενεργητικές.

Η κατηγορία των contact μεθόδων προϋποθέτει την επαφή του αντικειμένου με τον σαρωτή (tactile), όχι όμως και η κατηγορία των non-contact μεθόδων (laser or optical). Οι contact μέθοδοι αναφέρονται στη χρήση εργαλειομηχανών μέτρησης συντεταγμένων (CMM δηλαδή coordinate measuring machines). Μια τέτοια εργαλειομηχανή ουσιαστικά συνιστά ένα ρομποτικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από έναν ηλεκτρο-μηχανικό βραχίονα πολλαπλών αρθρώσεων και μια συσκευή ανίχνευσης σημείων (touch probe) προσαρμοσμένη στην επιφάνεια της αρπάγης. Με τη μετακίνηση του βραχίονα και την τοποθέτηση της συσκευής σε ένα σημείο του αντικειμένου, εκπέμπεται ένα σήμα όταν ασκηθεί πίεση στην απόληξη του βραχίονα από την επαφή του με το αντικείμενο. Το σήμα αυτό φέρει πληροφορίες για τις συντεταγμένες του σημείου στο χώρο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται με την επανατοποθέτηση της αρπάγης σε νέο σημείο και την ανάγνωση των συντεταγμένων του νέου σημείου. Στις αναλογικές CMM ακολουθείται αυτόματα το περίγραμμα του αντικειμένου για την ανίχνευση των σημείων, ενώ στις μη αναλογικές CMM (point to point CMM) πρέπει ο χρήστης να προσαρμόσει την αρπάγη στα διακεκριμένα σημεία.

Οι non-contact μέθοδοι ψηφιοποίησης αναφέρονται στη χρήση τρισδιάστατων σαρωτών (scanners). Τα τρισδιάστατοι σαρωτές εκπέμπουν διάφορους τύπους σημάτων (laser, λευκό φως, ακτινοβολία ακόμα και ηχητικά κύματα) προκειμένου να καθορίσουν με ακρίβεια τις αποστάσεις που

καθορίζουν τη γεωμετρία του αντικειμένου που θα σαρωθεί. Με τον τρόπο αυτό, συλλέγουν ένα νέφος σημείων οργανωμένο σε τυχαία μορφή. Οι σαρωτές που χρησιμοποιούνται ευρέως για την ψηφιοποίηση αντικειμένων είναι τα laser (εκπομπή κόκκινου φωτός) και τα optical (εκπομπή λευκού φωτός).

Τα laser scanners εκπέμπουν μια ακτίνα laser κατά μήκος της επιφάνειας του αντικειμένου και στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζουν γεωμετρική τριγωνοποίηση για να καθορίσουν τις συντεταγμένες τις επιφάνειάς του. Η εκπεμπόμενη ακτίνα laser τέμνει κατά μοναδικό τρόπο τα στοιχειώδη σημεία που συνθέτουν την επιφάνεια του αντικειμένου. Κάθε ένα από τα σημεία αυτά ανιχνεύονται από έναν αριθμό αισθητήρων, οι οποίοι δημιουργούν μια μοναδική απεικόνιση της συντεταγμένης του υπό μορφή εικόνας (image data). Οι αισθητήρες αυτοί είναι συνήθως διατεταγμένοι σε μορφή πλέγματος, διάταξη η οποία εξασφαλίζεται με τη χρήση μιας κάμερας CCD (charged couple device) στο εσωτερικό του σαρωτή. Με την εφαρμογή ενός αλγόριθμου τριγωνοποίησης οι διάφορες συντεταγμένες ενώνονται στο τελικό δικτυωτό πλέγμα.

Τα optical scanners εφαρμόζουν μια άλλη μέθοδο ψηφιοποίησης. Τα περισσότερα εκπέμπουν λευκό φως, ενώ άλλα κάνουν χρήση μιας ευρείας πηγής φωτός (λάμπα αλογόνου). Με αυτό τον τρόπο εκπέμπεται μια δέσμη φωτεινών ακτίνων υπό μορφή πλέγματος στην επιφάνεια του αντικειμένου προς ψηφιοποίηση. Το πλέγμα αντανακλάται από το αντικείμενο (εξαιτίας της τρισδιάστατης φύσης του) και η απόκλιση από το αυθεντικό πλέγμα μεταφράζεται σε μέτρηση επιφάνειας για κάθε σημείο του οπτικού πεδίου του σαρωτή. Όπως και στα laser scanners, έτσι και εδώ χρησιμοποιούνται αισθητήρες σταθερής απεικόνισης της μορφής CCD και εκτελείται τριγωνοποίηση για τα διάφορα σημεία. Η εκπομπή λευκού φωτός οδηγεί σε υψηλότερη ανάλυση του πλέγματος συγκριτικά με την εκπομπή κόκκινου φωτός, αλλά αυτό δε συνεπάγεται απαραίτητα και ποιοτικότερο αποτέλεσμα καθώς η υψηλότερη ανάλυση έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των παραμορφωμένων δεδομένων (noisy data ή θόρυβος).

Οι contact τεχνολογίες ήταν οι πρώτες που εφαρμόστηκαν για την ψηφιοποίηση αντικειμένων, καθώς προηγήθηκαν χρονικά των non-contact. Σταδιακά όμως αρχίζουν να εγκαταλείπονται. Αν και γενικά αποδίδουν δεδομένα υψηλής ακρίβειας και δεν επηρεάζονται από τη διάφανη και αντανακλαστική υφή ενός αντικειμένου, ή από το χρώμα του, απαιτείται αρκετός χρόνος και κόπος για την εξαγωγή των σημείων του περιγράμματός του. Επιπλέον, η ανάγκη επαφής με το αντικείμενο για την εξαγωγή των δεδομένων συνιστά από μόνη της ένα σημαντικό μειονέκτημα. Οι τεχνολογίες αυτής της μορφής δε μπορούν να εφαρμοστούν σε αντικείμενα από μαλακά υλικά, τα οποία u952 θα παραμορφωθούν κατά την επαφή τους με την αρπάγη, ούτε σε αντικείμενα μικρότερων διαστάσεων από το μέγεθος της αρπάγης.

Αντιθέτως, η χρήση non-contact τεχνολογιών αντεπεξέρχεται με επιτυχία στα παραπάνω ζητήματα. Σε ελάχιστο χρόνο αποδίδονται υψηλής ποιότητας δεδομένα αποφεύγοντας την επαφή του σαρωτή με αυτά. Η προσέγγιση αυτή είναι περισσότερη αξιόπιστη και μπορεί να εφαρμοστεί σε πλήθος αντικειμένων κατασκευασμένα από ευπαραμόρφωτα υλικά όπως λάστιχο, πηλός, πλαστικό. Το μοναδικό τους μειονέκτημα είναι ότι τα laser scanners (σε αντίθεση με τα optical και contact scanners) επηρεάζονται από το χρώμα μιας επιφάνειας καθώς και από τη διάφανη ή αντανακλαστική υφή της και αποδίδουν δεδομένα χειρότερης ποιότητας. Παρά το τελευταίο μειονέκτημα των laser scanners, η απλότητα της τεχνικής που χρησιμοποιούν, η ευκολία στη χρήση τους καθώς και η προσιτή τιμή τους, έχουν παγιώσει τις noncontact τεχνολογίες ως το κατ' εξοχήν εργαλείο ψηφιακής σάρωσης κατά την εφαρμογή της αντίστροφης σχεδίασης.

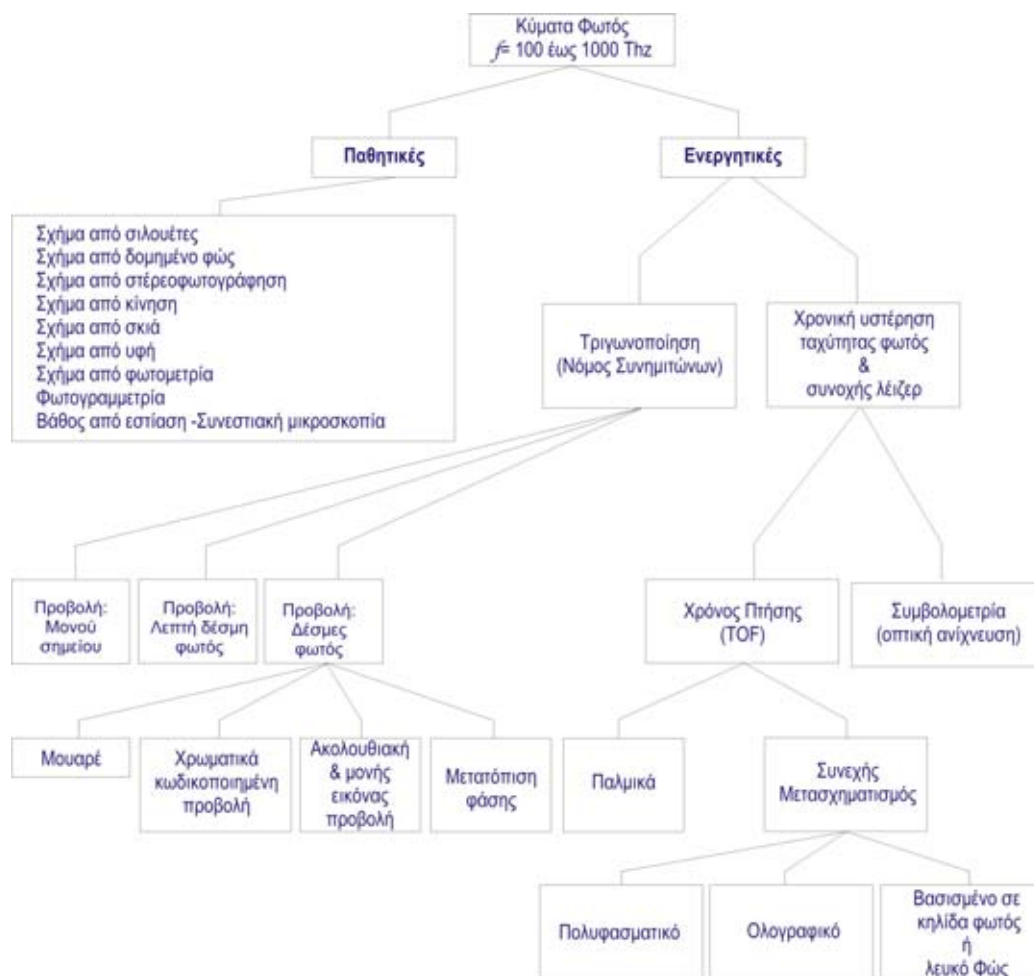
Για την non-contact κατηγορία μπορεί να γίνει διάκρισή σε:

- παθητικές μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης: γίνεται συνήθως χρήση του περιβαλλοντικού φωτισμού και τα μοναδικά χαρακτηριστικά που αποτυπώνονται είναι αυτά που είναι εμφανή σε ψηφιακές εικόνες.
- ενεργητικές μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης: τα ενεργητικά συστήματα που βασίζονται σε ακτίνες λέιζερ κοντινών αποστάσεων

αποτυπώνουν τις παραμορφώσεις που δέχεται η δέσμη φωτός καθώς ανακλάται πάνω σε επιφάνειες. Δημιουργούν ένα πυκνό χάρτη βάθους ή ένα νέφος σημείων από όλες τις εμφανείς επιφάνειες.

Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζονται οι επικρατέστερες τεχνικές σάρωσης που έχουν εφαρμογή στην αποτύπωση κινητών αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς (αλλά και μνημείων). Οι περισσότερες από αυτές έχουν ήδη εφαρμοστεί σε διάφορα ερευνητικά έργα και μελέτες. Θα παρουσιάσουμε όλες τις παθητικές μεθόδους ενώ από τις ενεργητικές μας ενδιαφέρουν μόνο οι μέθοδοι τριγωνοποίησης κοντινών αποστάσεων και οι αισθητήρες αφής που δεν περιγράφονται στην εικόνα.

Όλες οι μέθοδοι Σχήμα-Από-Χ επιτυγχάνουν την πρόσκτηση της τρίτης διάστασης μέσα από ένα σύνολο ψηφιακών φωτογραφιών. Το κοινό στοιχείο ανάμεσα στις δύο κατηγορίες είναι η ύπαρξη κάποιας διαδικασίας βαθμονόμησης. Η διαδικασία της βαθμονόμησης αποτελεί το κλειδί στην ορθή εξαγωγή της τρισδιάστατης γεωμετρίας και της πληροφορίας υψής, και, σε πολλές περιπτώσεις, αποτελείται από μια σειρά από μαθηματικές σχέσεις που αντιστοιχούν ένα σημείο από την δισδιάστατη φωτογραφία σε ένα σημείο στον πραγματικό χώρο, του οποίου η θέση είναι γνωστή με μεγάλη ακρίβεια. Αυτή η αντιστοίχιση εφαρμόζεται στην συνέχεια για την ανάκτηση της τρίτης διάστασης όλων των σημείων που εμφανίζονται μέσα στις φωτογραφίες.



Εικόνα 2.1. Βασικός διαχωρισμός τεχνικών οπτικής τρισδιάστατης σάρωσης

Εμείς για τη σάρωση των αντικειμένων μας χρησιμοποιήσαμε non-contact (laser) μεθοδολογία. Χρησιμοποιήσαμε τον τρισδιάστατο σαρωτή Minolta 910 / VI-910, οι δυνατότητες του οποίου περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

2.1 Αναλυτική τεχνολογική ανασκόπηση

Η διαθέσιμη τεχνολογία, σήμερα, για την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση αποτελεί ένα μεγάλο θέμα. Συγκεκριμένα, στην τελευταία δεκαετία, μια μεγάλη πληθώρα από εμπορικά συστήματα έκανε την εμφάνισή της, με στόχο τη διάχυση της τεχνολογίας που αναπτύχθηκε κατά την έρευνα των προηγούμενων είκοσι περίπου χρόνων. Η έρευνα όμως στο χώρο συνεχίζεται και τόσο βελτιώσεις όσο και νέα συστήματα κάνουν την εμφάνισή τους μέρα με τη μέρα. Είναι πρακτικά αδύνατο να καταλογογραφηθούν πλήρως όλα τα

διαθέσιμα συστήματα και μέθοδοι. Στην ανασκόπηση μεθόδων που ακολουθεί γίνεται μια γενική προσέγγιση με βάση το μέγεθος των αντικειμένων προς ψηφιοποίηση από το μικροσκοπικό επίπεδο έως το επίπεδο πολύ μεγάλων αντικειμένων, και γίνεται μια εισαγωγή στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

2.1.1 Τεχνικές ψηφιοποίησης μικροσκοπικών αντικειμένων

Είναι πλέον δυνατή η σύλληψη τρισδιάστατης πληροφορίας σε πάρα πολύ μικρή κλίμακα. Τεχνικές όπως η "Atomic Force Microscopy" και η "Stereo Scanning Electron Microscopy" μας επιτρέπουν να αναγνωρίσουμε και να καταγράψουμε χαρακτηριστικά σε κλίμακα μερικών δεκάδων νανομέτρων (nm). Άλλες τεχνικές, όπως η "Confocal Microscopy" και η "White Light Scanning Interferometry" παρέχουν ανάλυση της κλίμακας μερικών εκατοντάδων νανομέτρων. Το μειονέκτημα που υπάρχει στη χρήση τέτοιων μεθόδων υψηλής ακρίβειας και ανάλυσης είναι ότι αυτές οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ψηφιοποίηση πολύ μικρών επιφανειών (τυπικά μικρότερων του ενός τετραγωνικού χιλιοστού). Το εύλογο ερώτημα στο σημείο αυτό θα ήταν εάν υπάρχει, πραγματικά, κάποια πρακτική αξία στη χρήση τέτοιων τεχνικών και εξοπλισμού για την ψηφιοποίηση πολιτιστικής κληρονομιάς. Η απάντηση μπορεί να είναι μόνο υποθετική: ίσως. Όταν το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι αυτό της «απόλυτης» αποτύπωσης τότε σαφέστατα υπάρχει μια εφαρμογή. Για συγκεκριμένα πολιτιστικά αντικείμενα τα μικροσκοπικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά επιφανείας είναι δυνατό να είναι πολύ σημαντικά. Η πληροφορία γι' αυτά μπορεί να βοηθήσει διαδικασίες όπως έλεγχος κατάσταση και αυθεντικότητας, μέθοδος δημιουργίας, κοκ. Από τις τεχνικές που αναφέρθηκαν, η τεχνική της Stereo Scanning Electron Microscopy είναι μάλλον περιορισμένης εφαρμογής στο χώρο της πολιτιστικής κληρονομιάς. Στην τεχνική αυτή, τα δείγματα πρέπει να εισαχθούν σε ειδικούς χώρους υπό συνθήκες κενού και απαιτείται ειδική προετοιμασία, συνήθως επικάλυψη με μέταλλο. Έτσι, η τεχνική μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στις καταστρεπτικές τεχνικές και είναι, συνεπώς, ακατάλληλη για εφαρμογή στη γενική περίπτωση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Υπάρχουν, βέβαια,

περιπτώσεις όπως θραυσμάτων κεραμικών, απολιθωμάτων ή γυάλινων αντικειμένων, όπου θα μπορούσε να εφαρμοστεί η εν λόγω τεχνική. Η τεχνική Confocal microscopy είναι κυρίως «βιολογική τεχνική» και δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τεχνικές όπως φθορισμός. Δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για ημιδιάφανα αντικείμενα και επιτρέπει την καταγραφή εσωτερικής πληροφορίας. Θα μπορούσε να είναι περιορισμένης χρήσης στην παρατήρηση διάφανων αντικειμένων. Επίσης, είναι δυνατή η σκιαγράφιση επιφάνειας π.χ. για την ψηφιοποίηση επιφανειακής υφής, έχοντας το πλεονέκτημα ότι είναι μια τεχνική που δε στηρίζεται σε επαφή με τα αντικείμενα. Τη σκιαγράφιση επιφάνειας μπορεί επίσης να παρέχει και η τεχνική White Light Scanning Interferometry και μάλιστα με σημαντικά μικρότερο κόστος. Συστήματα όπως το Veeco RST επιτρέπουν τη μέτρηση τρισδιάστατων επιφανειών σε κλίμακα κάτω του μικρομέτρου και θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ιδιαίτερα χρήσιμα για την επισταμένη μελέτη επιφανειών. Η τεχνική είναι χωρίς επαφή και δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη επιφανειακή προετοιμασία. Η τεχνική Atomic Force Microscopy είναι η νεότερη στην κατηγορία των τεχνικών μικροσκοπικής κλίμακας και, ενώ υπάρχουν διαθέσιμα εμπορικά συστήματα, είναι ακόμη στη φάση σημαντικής ανάπτυξης. Η βασική αρχή είναι στη χρήση ενός πάρα πολύ μικρού μετρητικού συστήματος με μέγεθος που δεν ξεπερνά τα δέκα άτομα το οποίο φέρεται πάρα πολύ κοντά στην επιφάνεια προς μέτρηση χωρίς όμως να υπάρχει επαφή. Ενδοατομικές δυνάμεις έλκουν το σύστημα προς την επιφάνεια. Το μικροσκόπιο μπορεί να ανιχνεύσει το σύστημα μέτρησης στην κίνησή του κατά μήκος και πλάτος πάνω στην επιφάνεια που μετράται και να ρυθμίσει την απόστασή του από αυτήν μέσω της μέτρησης της δύναμης έλξης που ασκείται. Με τον τρόπο αυτό μετράται μια επιφάνεια μέσω της μέτρησης της ελκτικής δύναμης. Η μέθοδος μπορεί να παρέχει πολύ μεγάλη ακρίβεια (απαιτώντας, βέβαια, ιδιαίτερη επιδεξιότητα χειρισμού) που μπορεί να φτάσει κάτω του ενός νανόμετρου σε ειδικές περιπτώσεις.

Είναι, βέβαια, σημαντικό να κατανοηθεί η κλίμακα μεγεθών για την οποία γίνεται λόγος στις παραγράφους που προηγήθηκαν. Για το λόγο αυτό δίνεται μια ενδεικτική συγκριτική απεικόνιση χαρακτηριστικών αντικειμένων

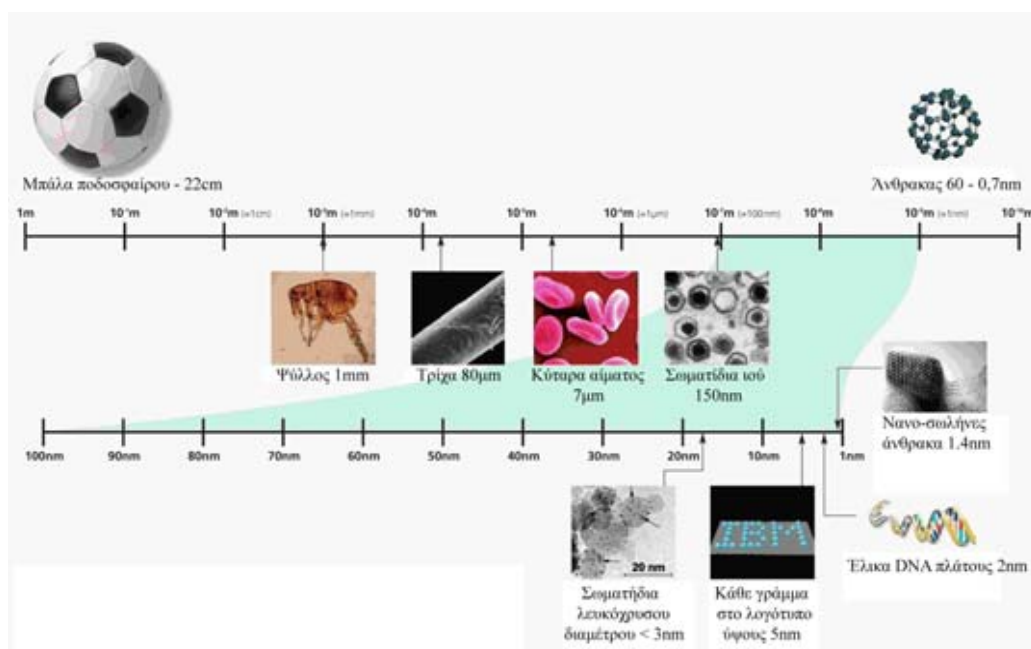
γνωστών μεγεθών από 1 μέτρο έως 1 μικρόμετρο (Εικόνα 2.2). Στα 30 περίπου εκατοστά υπάρχει η ποδοσφαιρική μπάλα ενώ στα 0,1 νανόμετρα υπάρχουν μεμονωμένα άτομα. Από διάφορες μελέτες, εργασίες και ερευνητικά έργα σε πανευρωπαϊκό επίπεδο είναι γνωστό ότι η ανάκτηση πληροφορίας στην κλίμακα του μικρομέτρου για πολιτιστικά αντικείμενα μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη. Με τη χρήση τεχνικών όπως αυτών που περιγράφηκαν στις παραπάνω παραγράφους, γίνεται δυνατή η μετάβαση στην κλίμακα των 100 νανομέτρων και ακόμη πιο κάτω. Το εύλογο, βέβαια, ερώτημα θα ήταν αν υπάρχει κάτι στην κλίμακα αυτή που να είναι ενδιαφέρον. Στις κλίμακες αυτές ανακτάται η μικρο-υφή μιας επιφάνειας, ή η τραχύτητά της η οποία είναι δυνατό να έχει σημαντική συμμετοχή στη συνολική παρουσία της μορφής του αντικειμένου. Μεταβολές στην τραχύτητα της επιφάνειας θα μπορούσαν να είναι χαρακτηριστικές για την κατάσταση της επιφάνειας (π.χ. διάβρωση). Η συνολική απάντηση είναι ότι, πράγματι, στην μικρο-κλίμακα υπάρχει σημαντική πληροφορία. Έτσι, από τις τέσσερις τεχνικές που αναφέρθηκαν, οι τεχνικές Atomic Force Microscopy και White Light Scanning Microscopy έχουν πραγματικά κάτι να συνεισφέρουν στο χώρο της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν μειονεκτήματα όπως ότι:

- μπορούν να μετρήσουν πολύ μικρές επιφάνειες ή μικρά δείγματα από τα πραγματικά αντικείμενα
- είναι σημαντικά σύνθετες και απαιτούν γνώσεις, εξειδίκευση και επιδεξιότητα
- ενώ ο εξοπλισμός είναι μεταφερόμενος απαιτούνται ιδιαίτερα ελεγχόμενες συνθήκες μέτρησης (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία) αν και πολλά μουσεία μπορούν να παρέχουν αυτές τις συνθήκες.

Όλα αυτά καταδεικνύουν το γεγονός ότι τέτοια συστήματα μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο σε μια διαδικασία ψηφιοποίησης ιδιαίτερα σε συνθήκες όπου η μικρο-δομή της επιφάνειας αντικειμένων έχει σημαντική

πληροφορία να δώσει τόσο για τη σωστή απεικόνιση όσο και τον έλεγχο της κατάστασής του.



Εικόνα 2.2. Συγκριτικό γράφημα διαστάσεων πραγματικών αντικειμένων

2.1.2 Τεχνικές ψηφιοποίησης μικρών αντικειμένων

Με τον όρο «μικρά αντικείμενα» εννοούνται εδώ αντικείμενα διάστασης έως 100x100 χιλιοστών (10x10 εκατοστά). Στην κατηγορία αυτή οι αδιαμφισβήτητα προτιμητέες τεχνικές είναι αυτές που βασίζονται σε συστήματα τριγωνοποίησης ακτίνων laser. Υπάρχει σήμερα πληθώρα τέτοιων εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων, και είναι μια απολύτως βατή διαδικασία για ένα εξειδικευμένο εργαστήριο που σχετίζεται με το χώρο της τρισδιάστατης όρασης να κατασκευάσει μια τέτοια συσκευή.

Η βασική αρχή λειτουργίας είναι σχετικά απλή: μια σημειακή πηγή laser σημαδεύει την επιφάνεια προς μέτρηση και ανιχνεύεται από έναν οπτικό αισθητήρα. Καθώς το laser μετακινείται πάνω στην επιφάνεια, συναντά διαφορετικά ύψη. Αυτά τα μεταβαλλόμενα ύψη αλλάζουν την ανάκλαση του laser στον οπτικό αισθητήρα. Αν και το σύστημα αυτό μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά, τα περισσότερα συστήματα βασίζονται σε εμπειρική βαθμονόμηση με χρήση προτυποποιημένων διαβαθμίσεων ύψους για την

αναγνώριση της σχέσης μεταξύ της μεταβολής στο επιφανειακό ύψος και της θέσης της ακτίνας. Με δεδομένο ότι η προς μέτρηση περιοχή περιορίζεται σε 100x100mm τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν μια ακρίβεια μέτρησης της τάξης μερικών μικρομέτρων. Παρόλα αυτά, εάν η επιφάνεια του αντικειμένου είναι μεγαλύτερη, τότε η ακρίβεια μέτρησης μειώνεται, και μάλιστα πολλές φορές σημαντικά. Τέτοια συστήματα είναι χρήσιμα για τη μέτρηση αντικειμένων όπως νομίσματα και μετάλλια, εγχάρακτες ή ανάγλυφες ταμπέλες και μικρά αντικείμενα χρυσοχοΐας. Είναι συνήθως φορητά, σχετικώς φθηνά και εμπορικά διαθέσιμα.

2.1.3 Τεχνικές ψηφιοποίησης αντικειμένων μεσαίου μεγέθους

Στην κατηγορία αυτή απαντώνται τα πιο ενδιαφέροντα πολιτιστικά αντικείμενα, και όπου διατίθενται οι περισσότερες τεχνικές ψηφιοποίησης. Τα αντικείμενα είναι διαστάσεων άνω των 10 εκατοστών και μπορεί να φτάνουν έως και 1 με 2 μέτρα. Εδώ μπορεί να περιληφθούν ακόμη και αγάλματα φυσικού μεγέθους. Τα πλέον χρησιμοποιούμενα συστήματα στην κατηγορία αυτή χρησιμοποιούν τεχνικές «δομημένου φωτισμού». Η λειτουργία τους βασίζεται σε μια επέκταση της αρχής της τριγωνοποίησης. Η διαφορά είναι ότι η σημειακή πηγή έχει πλέον αντικατασταθεί από ένα δισδιάστατο μοτίβο φωτός το οποίο προβάλλεται στην προς μέτρηση επιφάνεια. Διάφορες είναι οι μέθοδοι παραγωγής αυτού του μοτίβου φωτός, άλλοτε με τη συμβολή φωτός από πηγή laser και άλλοτε με απλή προβολή του μοτίβου με φωτογραφική μέθοδο. Συνήθως γίνεται χρήση ενός μοτίβου, το οποίο μετακινείται πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου για να επιτευχθεί η συνολική μέτρησή του. Υπάρχουν όμως και τεχνικές που χρησιμοποιούν πολλαπλά μοτίβα καθώς και τεχνικές Moiré. Το σημαντικό, όμως, σημείο εδώ είναι ότι με οποιονδήποτε τρόπο και εάν παράγονται τα μοτίβα φωτός η διαδικασία ανίχνευσης και ανάλυσής τους είναι η ίδια.

Ένα σύνηθες μοτίβο δεν αποτελείται από δύο απλές καταστάσεις τύπου on/off αλλά, τις περισσότερες φορές, από ημιτονοειδείς μεταβάσεις. Το σημαντικό εδώ είναι ότι καθίσταται δυνατός ο καθορισμός της θέσης όπου

παρατηρούνται τα μέγιστα των μοτίβων οδηγώντας σε βελτίωση της ακρίβειας της μέτρησης, παρέχοντας τη δυνατότητα εντοπισμού σε τμήμα μικρότερο ενός κροσσού συμβολής του μοτίβου. Εμπορικά, τα συστήματα αυτά είναι ικανά να επιτύχουν ακρίβεια μέτρησης περί το 1/100 των διαστημάτων μεταξύ των κροσσών του μοτίβου. Έτσι εάν το διάκενο αυτό είναι για παράδειγμα 1 cm τότε η αναμενόμενη ακρίβεια μέτρησης είναι της τάξης του 0,1 mm. Τα συστήματα αυτά βασίζονται συνήθως σε μία από δύο βασικές αρχές λειτουργίας: είτε με χρήση μετασχηματισμού Fourier, είτε με χρονική μετατόπιση φάσης. Κάθε προσέγγιση έχει τα πλεονεκτήματα και τους υποστηρικτές της. Τα περισσότερα εμπορικά συστήματα αυτής της κατηγορίας βασίζονται στη χρονική μετατόπιση φάσης, καθώς η τεχνική αυτή έχει αναλυθεί σημαντικά σε ερευνητικό επίπεδο και είναι σε μερικές περιπτώσεις ευκολότερη στην εφαρμογή της έναντι της άλλης μεθόδου.

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των τεχνικών στην κατηγορία αυτή είναι ότι σε γενικές γραμμές η ακρίβειά τους είναι κλιμακούμενη. Αυτό σημαίνει ότι τείνουν να μετρούν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα μικρά από ότι τα μεγάλα αντικείμενα. Για τα περισσότερα συστήματα το χαρακτηριστικό αυτό είναι συνυφασμένο με τον τρόπο που σχεδιάστηκαν. Περιορισμοί στην ακρίβειά τους πηγάζουν από το γεγονός ότι μια ψηφιακή εικόνα του μοτίβου φωτός έχει περιορισμένο εύρος ζώνης. Το εύρος αυτό ορίζεται από την ανάλυση που παρέχει το οπτικό αισθητήριο που χρησιμοποιεί το εκάστοτε σύστημα και το βάθος χρώματος με το οποίο ψηφιοποιείται η εικόνα. Βασικά, όσο μεγαλύτερο το πλήθος των εικονοστοιχείων στον οπτικό αισθητήρα τόσο καλύτερη η ανάλυση και τόσο μικρότερο μπορεί να είναι το διάκενο μεταξύ των κροσσών του μοτίβου για δεδομένο μέγεθος αντικειμένων. Καθώς η ακρίβεια των συστημάτων είναι στενά δεμένη με το μέγεθος των κροσσών του μοτίβου, μικρότεροι κροσσοί οδηγούν σε μεγαλύτερη ακρίβεια. επίσης καθώς το βάθος χρώματος ψηφιοποίησης μεγαλώνει γίνεται όλο και μεγαλύτερη η ικανότητα διαχωρισμού σημείων εντός του κροσσού μοτίβου οδηγώντας σε περαιτέρω αύξηση της ακρίβειας. Πολλά από τα συστήματα της κατηγορίας εφαρμόζουν την τεχνική τμηματικής ψηφιοποίησης για μεγάλες επιφάνειες (για μεγαλύτερη ακρίβεια) και στη

συνέχεια χρησιμοποιούν λογισμικά για συνένωση των τμηματικών σαρώσεων. Φυσικά και εδώ υπάρχουν όρια και η διαδικασία απαιτεί περισσότερο χρόνο ψηφιοποίησης.

Άλλοι σημαντικοί περιορισμοί αυτών καθώς και κάθε οπτικού συστήματος που βασίζεται σε διασκορπισμό φωτός από μια επιφάνεια είναι:

- Συνήθως αποτυγχάνουν στη μέτρηση σκούρων ή μαύρων αντικειμένων. Η απολύτως συμβατή προς αυτά επιφάνεια μέτρησης είναι μια ομαλή λευκή επιφάνεια χωρίς αντανakλάσεις. Έτσι καθίστανται καλή επιλογή για τα περισσότερα από τα έργα γλυπτικής.

- Τις περισσότερες φορές, τα γυαλιστερά αντικείμενα με ανακλαστικές επιφάνειες αποτελούν σημαντικό πρόβλημα. Σήμερα, βέβαια, υπάρχουν ειδικές τεχνικές που αντιμετωπίζουν και το πρόβλημα αυτό. Στη γενικό όμως περίπτωση, δεν είναι δυνατή η μέτρηση αντικειμένων με υψηλή ανακλαστικότητα ή διάφανων αντικειμένων.

- Η ύπαρξη μοτίβων ή σημαδιών στην επιφάνεια όπως για παράδειγμα ζωγραφική πάνω σε κεραμικά μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο σύστημα οδηγώντας σε καταστάσεις ασάφειας εντοπισμού των προβαλλόμενων μοτίβων.

- Επιφάνειες με μεγάλη γκάμα καμπυλοτήτων μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα. Πολύ απότομες ακμές μπορεί επίσης να εισάγουν δυσκολίες.

- Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων είναι ότι παράγουν αυτό που καλείται «νέφος σημείων» και όχι ολοκληρωμένες επιφάνειες. Στα παραγόμενα δεδομένα δεν υπάρχει κάποιου είδους πληροφορία αποκλειστικής σύνδεσης μεταξύ των σημείων, η οποία πρέπει να οριστεί στη συνέχεια.

Στην κατηγορία αυτή μπορούν να ενσωματωθούν και άλλες τεχνικές, μία εκ των οποίων γνωρίζει σημαντική άνθηση τα τελευταία χρόνια και δεν είναι άλλη από την ολογραφία με χρήση υπολογιστών. Η ολογραφία είναι ήδη ώριμη (φτάνει τα 50 περίπου χρόνια), αλλά δεν έχει ακόμη καταφέρει να αποδώσει τους καρπούς της τουλάχιστον σε εμπορικό επίπεδο. Έτσι η ολογραφία παραμένει ακόμη σε επίπεδο ερευνητικής ή πολύ ειδικής χρήσης.

Παρουσιάζεται ως μια πολύ ακριβή, τεχνικά πολύπλοκη μέθοδος με μη σημαντικά αποτελέσματα για τον κόσμο του πολιτισμού, λίγο-πολύ ως ένα αξιοπερίεργο. Αυτό όμως αρχίζει να αλλάζει. Μερικά από τα προβλήματα που σχετίζονται με την ολογραφία είναι η απαίτηση για χρήση υγρών χημικών για την έκθεση των εικόνων και οι σημαντικοί περιορισμοί στη δυνατότητα απεικόνισης. Η ολογραφία με χρήση υπολογιστών δίνει μια παράπλευρη λύση σε όλα αυτά τα προβλήματα.

Αλλά ας πάρουμε τα πράγματα από την αρχή: ο λόγος για τον οποίο βλέπουμε αντικείμενα είναι γιατί το φως ανακλάται πάνω τους. Το φως έχει τρεις σημαντικές ιδιότητες: ένταση, συχνότητα και φάση. Μια ασπρόμαυρη εικόνα αναπαριστά μόνο την ένταση. Μια έγχρωμη εικόνα αναπαριστά τις δύο πρώτες ιδιότητες, ένταση και συχνότητα. Μόνο το ολόγραμμα μπορεί να συλλάβει και να αναπαραστήσει και τις τρεις ιδιότητες. Το φως που προέρχεται από διαφορετικά σημεία του αντικειμένου έχει διανύσει διαφορετικό μήκος αποστάσεων και έχει, συνεπώς, διαφορετική φάση. Έτσι, η πληροφορία της τρισδιάστατης δομής του αντικειμένου βρίσκεται στη φάση. Με έλεγχο της φάσης του φωτός που προσπίπτει στο αντικείμενο μπορούμε να εξασφαλίσουμε ότι όλη η πληροφορία φάσης στο ολόγραμμα προέρχεται από το αντικείμενο, που σημαίνει ότι θα έχουμε καταγράψει τη συνολική πληροφορία τρισδιάστατης μορφής του αντικειμένου. Κατά την απεικόνιση, το ολόγραμμα εμφανίζει παράλλαξη, δηλαδή βλέπουμε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο και εάν μετακινήσουμε τη θέση όρασής του φέρνουμε άλλα τμήματα της επιφάνειάς του στο οπτικό μας πεδίο. Ακριβώς όπως θα γινόταν εάν το αντικείμενο είχε φυσική παρουσία.

Δύο είναι οι προσεγγίσεις στην ολογραφία με υπολογιστές:

- η ψηφιακή ολογραφία και
- η τεχνητά δημιουργημένη ολογραφία (μέσω υπολογιστή)

Και οι δύο έχουν σημαντικές προοπτικές στη σύλληψη και απεικόνιση τρισδιάστατων πολιτιστικών αντικειμένων.

Ψηφιακή ολογραφία (digital holography) είναι η διαδικασία της καταγραφής ολογράμματος με οπτικά αισθητήρια και η αποθήκευσή του σε υπολογιστή. Στη διαδικασία δεν εμπλέκεται πλέον κάποιο υγρό χημικό. Η προοπτική της μεθόδου είναι πολύ μεγάλη. Επειδή η εικόνα μπορεί να αποκατασταθεί μέσω λογισμικού είναι δυνατή η εξαγωγή του τρισδιάστατου σχήματος με μαθηματικές μεθόδους.

Τα ψηφιακά ολογράμματα είναι δυνατό να απεικονιστούν με δύο τρόπους:

- Ως πραγματικά ολογράμματα με όλες τις ιδιότητες παράλλαξης των τυπικών ολογραμμάτων, μέσω της «εγγραφής» των δεδομένων των ολογραμμάτων σε μια συσκευή που ονομάζεται χωρικός διαμορφωτής φωτός (spatial light modulator) και με τον φωτισμό τους είτε με φως από laser είτε με φως από σημειακή πηγή λευκού φωτός.

- Μέσω του υπολογισμού της κυματομορφής από το ολόγραμμα εντός του υπολογιστή και στη συνέχεια υπολογισμού της εικονικής αναπαράστασής του σε οθόνη υπολογιστή με τυπικές μεθόδους απεικόνισης τρισδιάστατων γραφικών. Πέραν του σημαντικού πλεονεκτήματος της μαθηματικής αναπαράστασης των δεδομένων ενός ψηφιακού ολογράμματος, άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής του και η δυνατότητα αντιγραφής και αναπαραγωγής του. Από τη στιγμή που ένα ολόγραμμα κατασκευάζεται έχει πλέον τη μορφή ψηφιακών δεδομένων. Στη γενική περίπτωση είναι δυνατή η μετάδοσή του ή ακόμη και η επεξεργασία του (π.χ. κλιμάκωση). Μπορούμε να δανειστούμε ένα αντίστοιχο παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση των δυνατοτήτων από το χώρο της ψηφιακής μουσικής. Από τη στιγμή που έχουμε τη μουσική σε ψηφιακή μορφή είναι δυνατή η επεξεργασία της, η αλλαγή της μορφής δεδομένων, η αποστολή της μέσω π.χ. e-mail, η εγγραφή της σε CD, η μεταφόρτωση μέσω διαδικτύου, η μετάδοση μέσω ψηφιακού ραδιοφώνου, κ.ο.κ. Παρόμοια ευελιξία παρέχεται και από το ψηφιακό ολόγραμμα.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα των ψηφιακών ολογραμμάτων είναι ότι βασίζεται στη χρήση φωτός laser, το οποίο αποτελεί πρότυπο. Αυτό σημαίνει

ότι από τη στιγμή που αποθηκευθεί ένα ψηφιακό ολόγραμμα πολιτιστικού αντικειμένου σήμερα και η διαδικασία επαναληφθεί αργότερα, είναι δυνατή η απόλυτη σύγκριση μεταξύ των ολογραμμάτων. Το μήκος κύματος του χρησιμοποιούμενου laser HeNe δεν πρόκειται να μεταβληθεί με το πέρασμα του χρόνου (παρέχοντας με τον τρόπο αυτό μέθοδο συγκριτικής μελέτης αντικειμένων στο πέρασμα του χρόνου).

Τα τεχνητά δημιουργημένα ολογράμματα (με χρήση υπολογιστών) (Computer generated holograms) είναι στην ουσία η άλλη όψη του ίδιου νομίσματος. Για τη δημιουργία τους γίνεται σύλληψη τρισδιάστατων δεδομένων και στη συνέχεια ακολουθεί προσομοίωση της διαδικασίας δημιουργίας ολογράμματος εντός ενός υπολογιστή. Έχοντας υπολογίσει πώς θα είναι το ολόγραμμα, η διαδικασία προχωρά στην τελική κατασκευή του ολογράμματος. Πρόσφατες πρόοδοι στην τελευταία αυτή διαδικασία, ειδικότερα στη λιθογραφία ηλεκτρονίων, δίνουν πλέον αυτή τη δυνατότητα και σε αρκετά μεγάλη κλίμακα – έως και αρκετά μέτρα. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να δημιουργήσουμε το ολόγραμμα ενός αντικειμένου που δεν έχει, με την τυπική έννοια, ολογραφηθεί. Η ποιότητα αποκατάστασης είναι εξαιρετική καθώς τα τεχνητά δημιουργημένα ολογράμματα μπορούν να έχουν πλήρη πληροφορία χρώματος.

Υπάρχουν, βέβαια, μερικά αλλά στην πλειοψηφία τους είναι ειδικές εφαρμογές και ειδικευμένες τεχνικές υλοποιήσεις. Η συγκεκριμένη επιστήμη είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο εξέλιξης. Οι οπτικοί αισθητήρες (CCD) δεν είναι ακόμη ικανοποιητικά μεγάλης ανάλυσης για την πραγματική σύλληψη του τεράστιου όγκου οπτικών δεδομένων που απαιτούνται. Αυτό, βέβαια, πρόκειται να αλλάξει. Όλη η εμπορική πίεση στην περαιτέρω ανάπτυξη με χρήση πυριτίου (silicon κατά τα γνωστά) οδηγεί σε όλο και μεγαλύτερης κλίμακας σμίκρυνση των ηλεκτρονικών υλικών. Και όχι μόνο για παρόμοιες εφαρμογές αλλά σε όλη την κλίμακα των βιομηχανικών κατασκευών. Προφανώς και η συγκεκριμένη εφαρμογή θα έχει σημαντικά οφέλη από την ανάπτυξη αυτή. Εάν εξετάσουμε τη μέθοδο σε μεγάλο βάθος χρόνου μπορούμε να πούμε ότι η ολογραφία τεχνητά δημιουργημένων ολογραμμάτων

είναι αδιαμφισβήτητα η απόλυτη λύση στην ψηφιοποίηση, αποθήκευση και απεικόνιση τρισδιάστατων πολιτιστικών αντικειμένων.

Τέλος, μία ακόμη τεχνική που μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για τα αντικείμενα της κλίμακας που μελετούμε στη συγκεκριμένη παράγραφο είναι η τομογραφία. Τομογραφία είναι η διαδικασία συλλογής τρισδιάστατων ογκομετρικών δεδομένων από σειρά δισδιάστατων εικόνων τομών. Η μέθοδος βρίσκει σήμερα μεγαλύτερη εφαρμογή στην ιατρική και την αεροδιαστημική. Είναι ικανή για υψηλή ακρίβεια, ειδικά για μικρά αντικείμενα. Το βασικό πλεονέκτημά της έγκειται στην ικανότητα σύλληψης και αναδημιουργίας εσωτερικής πληροφορίας. Η πλέον διαδεδομένη μορφή της εκφράζεται με τη χρήση ακτίνων Χ, όπου γίνεται χρήση ενός πομπού ακτίνων Χ χαμηλής ενέργειας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν επίσης και μέθοδοι οπτικής και ακουστικής τομογραφίας, αλλά είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο εξέλιξης σε σχέση με την τομογραφία ακτίνων Χ.

Η τομογραφία όταν εφαρμόζεται σε ανθρώπους βασίζεται στο ότι το σώμα των ανθρώπων παρουσιάζει διαφοροποίηση ως προς το υλικό, π.χ. κόκαλα, μύες, υγρά, αέρια, κλπ. Καθένα από τα υλικά αυτά απορροφά μέρος των ακτίνων Χ σε διαφορετικό ποσοστό, και, συνεπώς, καθώς οι ακτίνες διατρέχουν το σώμα προκύπτει εικόνα χαρακτηριστική της διαδρομής που διανύθηκε και των υλικών που συναντήθηκαν. Για το λόγο αυτό η τομογραφία ακτίνων Χ ανθρώπινου σώματος θεωρείται πλούσια σε πληροφορία. Γενικά, όμως, δεν μπορεί να λεχθεί το ίδιο και για τα πολιτιστικά αντικείμενα. Υπάρχουν εξαιρέσεις, αλλά παίρνοντας για παράδειγμα τα αγάλματα, υπάρχει πολύ μικρή διαφοροποίηση στα εσωτερικά υλικά και, έτσι, η τομογραφία μπορεί να συλλάβει μικρά ποσοστά πληροφορίας. Φυσικά υπάρχουν και εξαιρέσεις, όπως για παράδειγμα σε εφαρμογές ανοίγματος σαρκοφάγων.

2.1.4 Τεχνικές ψηφιοποίησης αντικειμένων μεγάλου μεγέθους

Στην κατηγορία αυτή αναφερόμαστε σε αντικείμενα μεγαλύτερα από 2 μέτρα (μπορεί να φτάνουν τα 100 μέτρα). Ενώ υπάρχουν πολλές τεχνικές για τη μέτρηση μεσαίων αντικειμένων στην εν λόγω κλίμακα, υπάρχει γενικά μια

έλλειψη μεθόδων στην κατηγορία αυτή. Στο τέλος της κλίμακας το πρόβλημα ανάγεται σε τεχνικές ψηφιοποίησης χώρων. Εδώ υπάρχουν δύο βασικές οικογένειες μεθόδων:

Στην πρώτη οικογένεια, οι μέθοδοι βασίζονται στην ιδέα του «οπτικού radar». Στην απλούστερη περίπτωση μια πηγή εκπέμπει ακτίνες laser οι οποίες είναι διαμορφωμένες είτε κατά πλάτος είτε κατά συχνότητα. Η ακτίνα ανακλάται από το στόχο προς μέτρηση και ανιχνεύεται από το σύστημα μέτρησης. Με εξέταση της κατάστασης διαμόρφωσης της ακτίνας που ανιχνεύεται είναι δυνατός ο υπολογισμός του χρόνου που χρειάστηκε για να διανυθεί η αντίστοιχη απόσταση της ακτίνας από τον πομπό στο αντικείμενο και πίσω στο δέκτη. Γνωρίζοντας την ταχύτητα του φωτός στον αέρα είναι δυνατός ο υπολογισμός της απόστασης που διανύθηκε. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά ως συστήματα «χρόνου πτήσης» ("time of flight"). Στην κατηγορία αυτή υπάρχουν διαθέσιμες εμπορικές συσκευές με δυνατότητα μέτρησης πολλαπλών σημείων και ακολουθιακής σύνθεσης μιας ολοκληρωμένης τρισδιάστατης σκηνής. Οι καλύτερες τεχνικές έχουν ακρίβεια περί τα 5 χιλιοστά για αποστάσεις λειτουργίας περί τα 30 μέτρα και άνω. Το προφανές μειονέκτημα είναι ότι πρόκειται για σύστημα που βασίζεται σε σημεία, δηλαδή αποτελούν μια μεγέθυνση των συστημάτων τριγωνοποίησης και συνεπώς απαιτείται σημαντικός χρόνος για τη συλλογή του συνόλου των απαιτούμενων δεδομένων.

Στη δεύτερη οικογένεια μέτρησης μεγάλων αντικειμένων ανήκουν τεχνικές φωτογραμμετρίας. Η βασικότερη των τεχνικών αυτών είναι η γνωστή «καθοδηγούμενη στερεο-φωτογραμμετρία». Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται σημεία αναφοράς, τα οποία ορίζονται στην επιφάνεια των προς μέτρηση αντικειμένων και λαμβάνεται τουλάχιστον ένα ζεύγος φωτογραφιών από διαφορετικές γωνίες. Μέσω της ταύτισης των σημείων αναφοράς, είτε αυτόματα είτε όχι, καθίσταται δυνατή η ανάκτηση πληροφορίας τρισδιάστατης γεωμετρίας με τη μέτρηση απόστασης από το επίπεδο λήψης των φωτογραφιών. Η μέθοδος δίνει, προφανώς, καλύτερα αποτελέσματα όταν στα αντικείμενα ή, γενικά, στη σκηνή υπάρχουν επίπεδες

επιφάνειες με λίγα σημεία αναφοράς. Είναι, γενικότερα, μέθοδος που ενδείκνυται περισσότερο για την ψηφιοποίηση μνημείων ή χώρων.

2.2 Περιγραφή Εξοπλισμού

Για την τρισδιάστατη σάρωση του αντικειμένου χρησιμοποιήθηκε το ο τρισδιάστατος σαρωτής VIVID 910 / VI – 910 της Minolta. Πρόκειται για τρισδιάστατο non contact, φορητό σαρωτή, ο οποίος αποτυπώνει τρισδιάστατη γεωμετρία και μια έγχρωμη απεικόνιση της επιφάνειας. 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. Αναλυτικότερα, 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 αντανάκλαται από την επιφάνεια του αντικειμένου ανιχνεύεται από τον φακό του σαρωτή και μεταβιβάζεται σε μια CCD κάμερα, 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, ο οποίος περιστρέφεται με τη βοήθεια ενός γαλβανόμετρου ακριβείας. Με αυτό τον τρόπο, λαμβάνεται μια τρισδιάστατη απεικόνιση του αντικειμένου υπό μορφή νέφους σημείων.

Κατά το χρονικό διάστημα που η ακτίνα φωτός δεν εκπέμπεται, τα δεδομένα του CCD συστήματος διέρχονται από ένα RGB φίλτρο, οπότε λαμβάνουμε και μια έγχρωμη εικόνα του αντικειμένου (bitmap image). Η ψηφιακή σάρωση διαρκεί περίπου 2.5 δευτερόλεπτα.

Στην εικόνα 2.3 απεικονίζονται τα τμήματα της Minolta. Στην μπροστινή της όψη εμφανίζονται το παράθυρο εκπομπής του laser (Laser Emitting Window) και ο φακός για την αποτύπωση του αντικειμένου (Light Receiving Lens). Στην πλαϊνή της όψη, οι διακόπτες για την τροφοδοσία και η υποδοχή για ένα καλώδιο SCSI για την σύνδεσή της με τον υπολογιστή. Στην

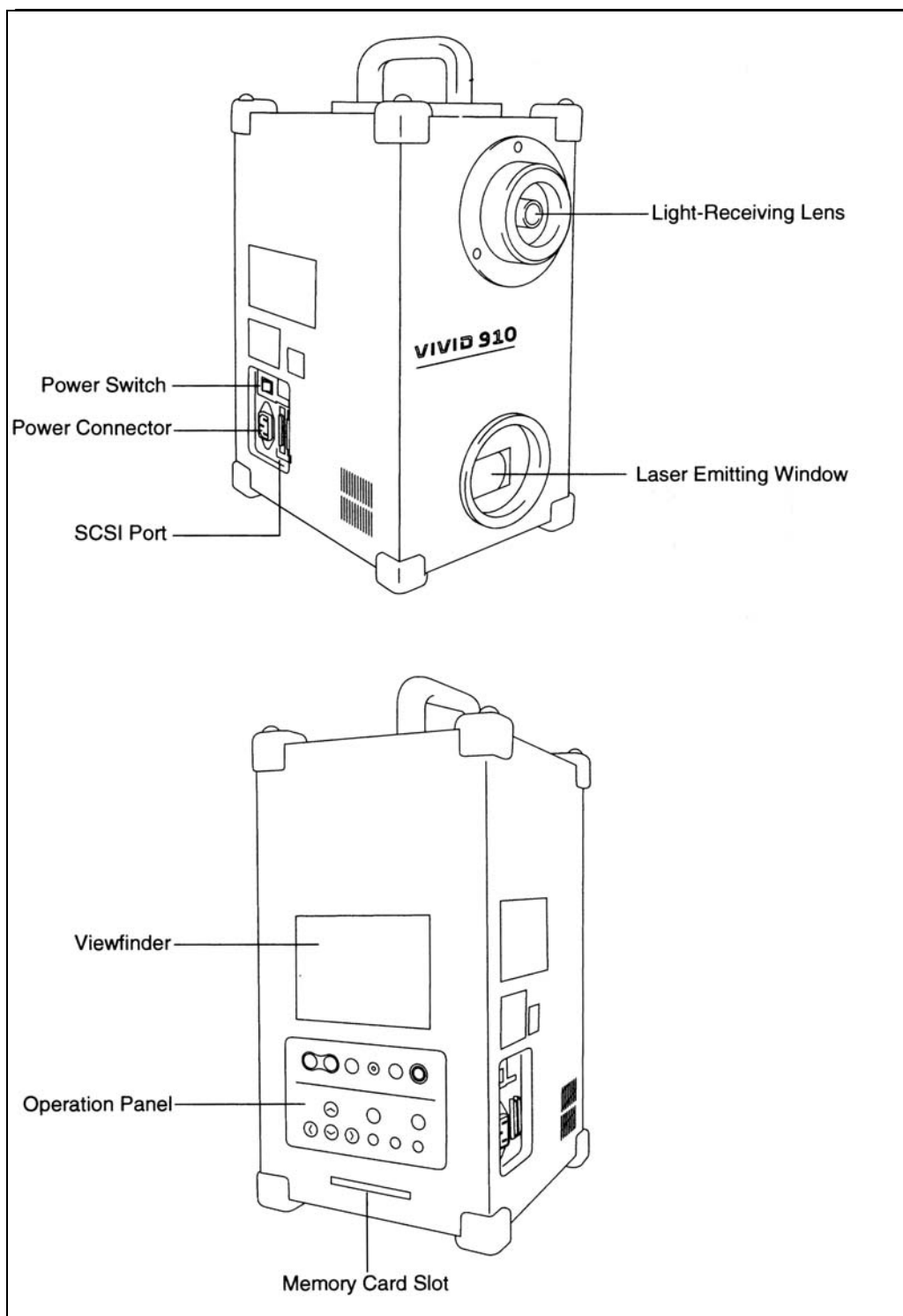
πίσω της όψη υπάρχουν το παράθυρο απεικόνισης του αντικειμένου (Viewfinder), ο πίνακας ελέγχου (Operation Panel) και η υποδοχή για μνήμη flash και την αποθήκευση των δεδομένων.



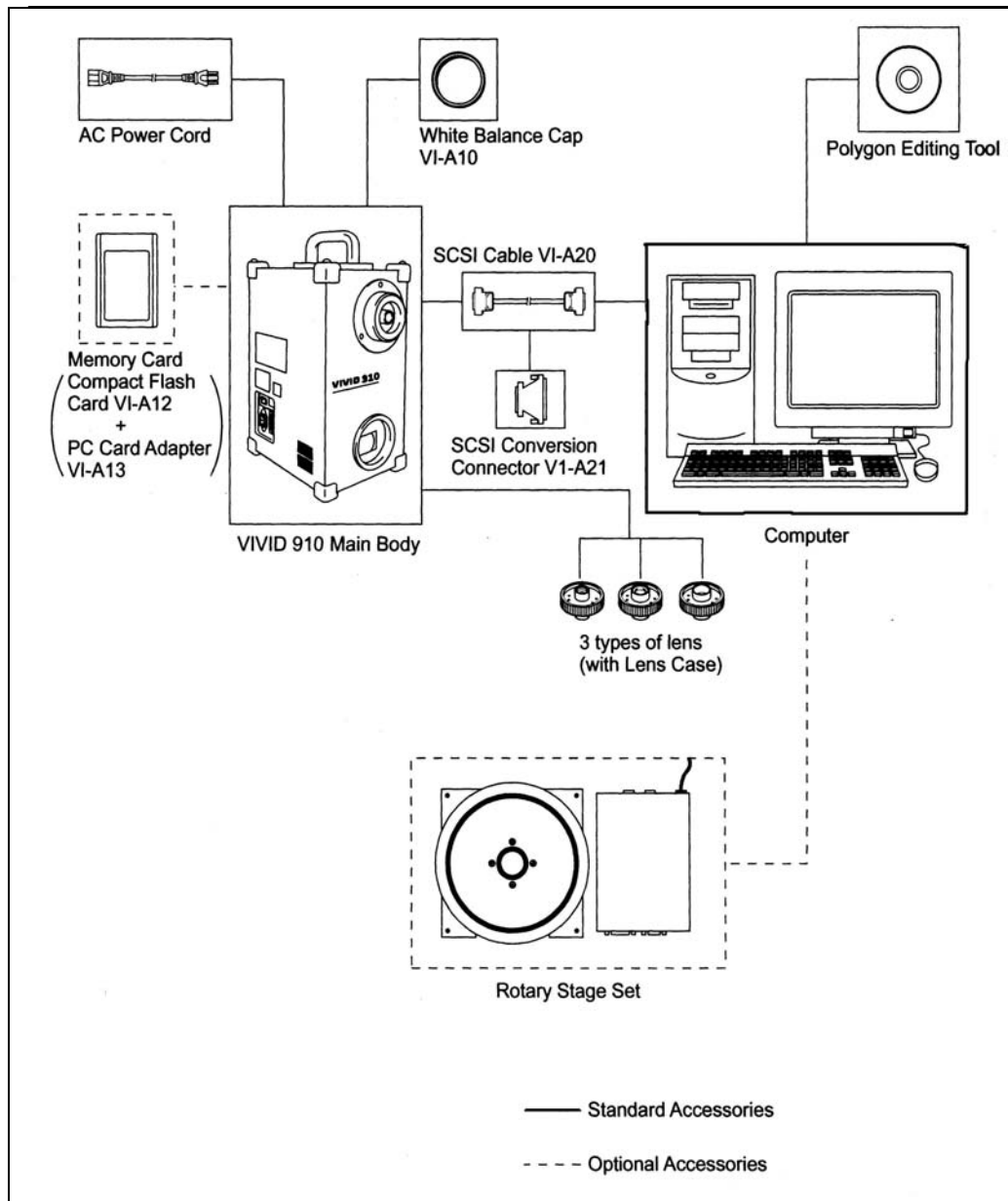
Η Minolta Vivid 910/VI-910

Στην εικόνα 2.4 εμφανίζεται η διάταξη του συστήματος που χρησιμοποιήσαμε κατά την εφαρμογή της ψηφιοποίησης. Ο απαραίτητος εξοπλισμός συμβολίζεται με συνεχή γραμμή, ενώ ο προαιρετικός με διακεκομμένη.

Η Minolta συνδέεται μέσω ενός SCSI καλωδίου με τον υπολογιστή. Στο βασικό της εξοπλισμό περιλαμβάνονται επίσης ένα λευκό καπάκι (white balance cap), τρεις τύποι φακών και το μητρικό λογισμικό της (Polygon Editing Tool) για την επεξεργασία των δεδομένων. Προαιρετικά χρησιμοποιείται μια flash μνήμη για την αποθήκευση των δεδομένων καθώς και ένα περιστρεφόμενο πλατό για την τοποθέτηση του αντικειμένου που θα ψηφιοποιηθεί. Πριν την έναρξη της ψηφιοποίησης, προσαρμόζουμε το white balance cap στο scanner ώστε να βαθμονομηθεί το λευκό χρώμα. Η ρύθμιση αυτή πραγματοποιείται αυτόματα.



Εικόνα 2.3 Τα κύρια τμήματα της Minolta Vivid 910/VI-910.



Εικόνα 2.4 Διάταξη του συστήματος

Η Minolta VI-910 μπορεί να ψηφιοποιήσει αντικείμενα διαφόρων διαστάσεων (οι διαστάσεις τους κυμαίνονται από 110*80*40 mm μέχρι 1200*900*750 mm) χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους 3 φακούς:

- Έναν ευρυγώνιο φακό (WIDE LENS).
- Έναν μεσαίας γωνίας φακό (MIDDLE LENS).
- Έναν τηλεφακό (TELE LENS).

Ανάλογα με τις διαστάσεις του αντικειμένου επιλέγεται και ο κατάλληλος φακός. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται για τις

οριακές τιμές της μετρούμενης απόστασης (0.6 και 2 m για τον ευρυγώνιο φακό – 0.6 και 2.5 m για τους άλλους δύο) και ενδιάμεσες τιμές τους, η μέγιστη τιμή της οριζόντιας και κάθετη διάστασης ενός αντικειμένου που μπορεί να αποτυπωθεί. Όλες οι τιμές εμφανίζονται σε χιλιοστά.

WIDE LENS (εστιακή απόσταση f=8mm)						
ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ		600	800	1000	1200	2000
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ	367.0	486.6	606.2	725.8	1204.2
	ΚΑΘΕΤΗ	275.2	364.9	454.6	544.4	903.2

MIDDLE LENS (εστιακή απόσταση f=14mm)						
ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ		600	800	1000	1200	2500
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ	204.7	270.6	336.5	402.4	830.6
	ΚΑΘΕΤΗ	153.6	203.0	252.4	301.8	622.9

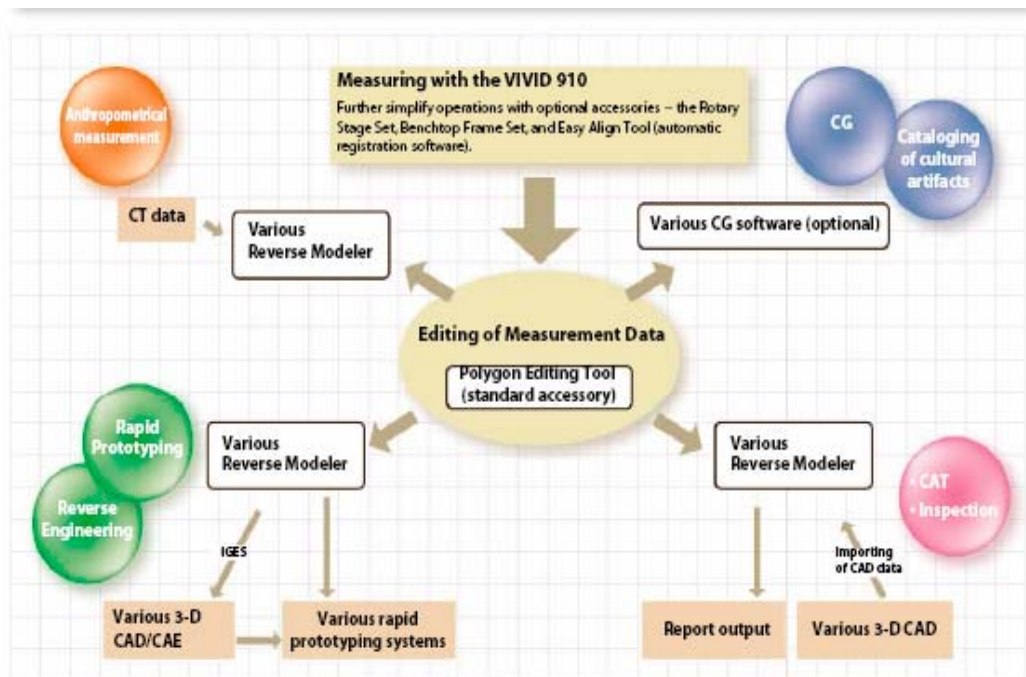
TELE LENS (εστιακή απόσταση f=25 mm)						
ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ		600	800	1000	1200	2500
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ	113.9	151.0	188.0	225.1	465.9
	ΚΑΘΕΤΗ	85.4	113.2	141.0	168.8	349.4

Κατά την ψηφιοποίηση ενός αντικειμένου με τη χρήση της Minolta Vivid 910/VI-910 είναι αδύνατη η αποτύπωση της συνολικής επιφάνειας του αντικειμένου με μια και μοναδική σάρωση. Επομένως, σαρώνω το αντικείμενο τμηματικά επιλέγοντας διάφορες όψεις του, τις οποίες στη συνέχεια θα ενοποιήσω στο αρχικό αντικείμενο με χρήση του Geomagic Studio 7 . Η επιλογή των όψεων μπορεί να γίνει είτε χειροκίνητα, είτε αυτόματα με τη χρήση της περιστροφικής ιδιότητας του πλατό. Στη δεύτερη περίπτωση, καθορίζω τη γωνία περιστροφής του πλατό γύρω από τον άξονά του μέχρι να διαγραφεί ένας πλήρης κύκλος.

Η τιμή της γωνίας καθορίζει και τον αριθμό των σαρώσεων που θα πραγματοποιηθούν. Για παράδειγμα, αν επιλέξω περιστροφή του πλατό ανά 60° θα εκτελεστούν 6 διαφορετικές ψηφιοποιήσεις. Όταν όλες οι σαρώσεις ολοκληρωθούν, προσαρμόζω ένα ειδικό αντικείμενο (calibration chart) στο

turntable και εκτελώ μια ακόμη σάρωση. Ο λόγος είναι το καλιμπράρισμα του σαρωτή, ώστε κατά την περιστροφή του πλατό να αναγνωριστεί από το σύστημα η θέση κάθε ψηφιοποιημένης όψης στο χώρο. Κατά τη χειροκίνητη ψηφιοποίηση δεν έχω περιστροφή, οπότε δεν απαιτείται η χρήση του calibration chart.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής σχετικό με τις εφαρμογές και τη ροή δεδομένων του σαρωτή που χρησιμοποιούμε.



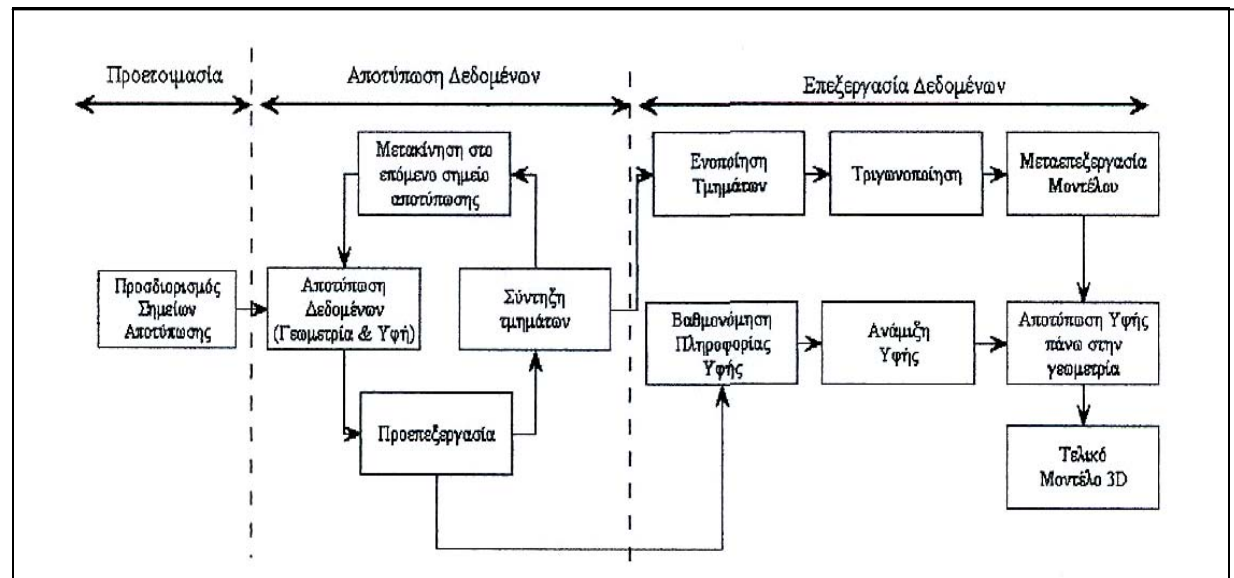
Εικόνα 2.5 Εφαρμογές και ροή δεδομένων της Minolta Vivid 910/VI-910

3. Διαδικασίες τρισδιάστατης αποτύπωσης κινητών πολιτιστικών αντικειμένων

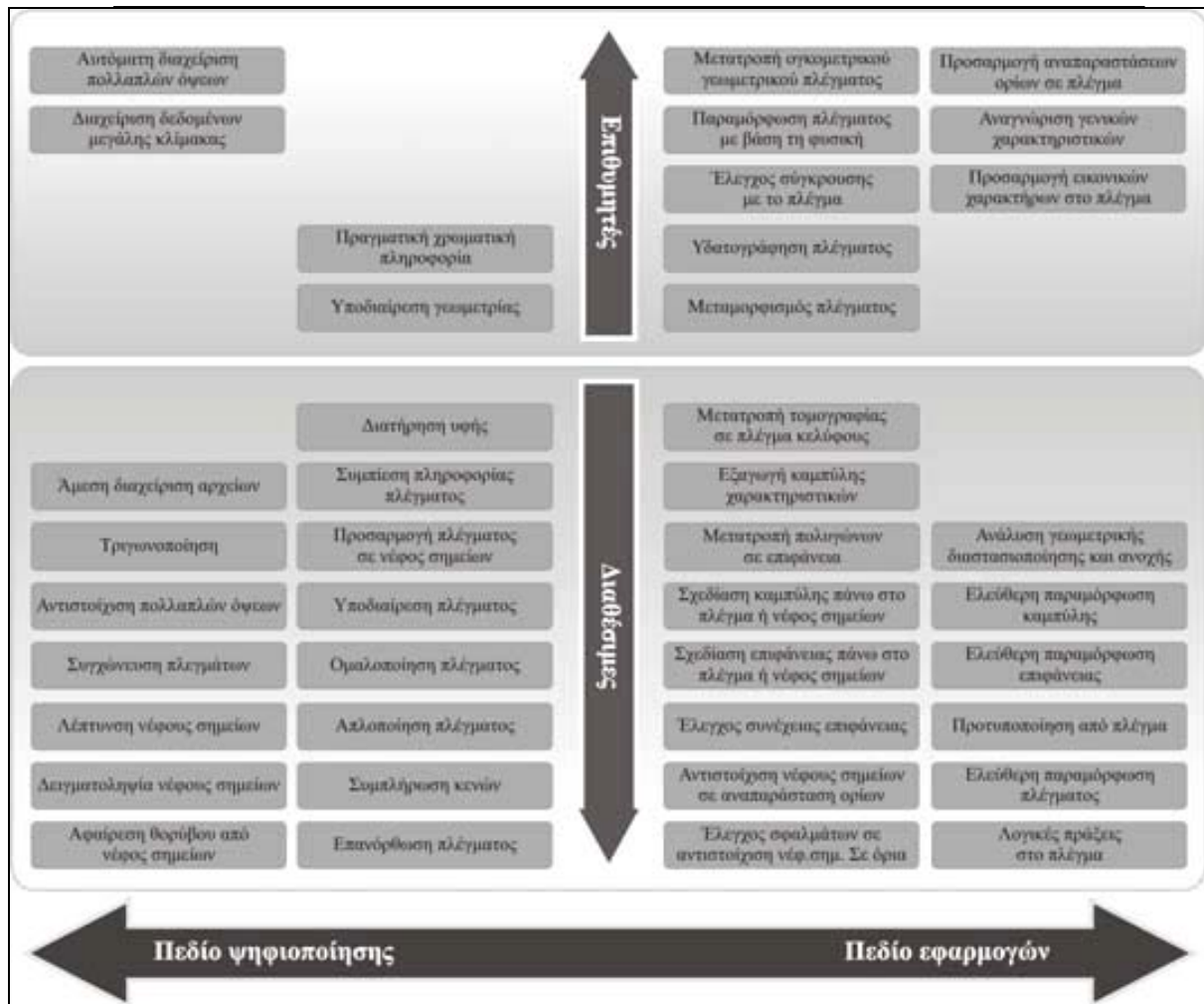
3.1 Εισαγωγή

Η συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων με κάποιο σύστημα σάρωσης είναι μόνο η αρχή μιας ιδιαίτερα σύνθετης διαδικασίας. Τα βήματα που ακολουθούνται, αποσκοπούν στην αποτελεσματική χρήση των δεδομένων που παρέχουν οι σαρωτές. Στην Εικόνα 3.1 περιγράφεται η σειρά εργασιών από τη στιγμή της αποτύπωσης των δεδομένων έως και της τελικής οπτικής αναπαράστασης του τρισδιάστατου μοντέλου. Η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων διαχωρίζεται σε πέντε βασικά βήματα:

- προ-επεξεργασία
- ενοποίηση τμηματικών σαρώσεων
- μετατροπή σε πολυγωνικό πλέγμα
- μετά-επεξεργασία
- επεξεργασία υφής



Εικόνα 3.1



Εικόνα 3.2

Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζονται συγκεντρωμένες όλες οι (μέχρι σήμερα) διαθέσιμες αλλά και επιθυμητές (όχι ακόμη διαθέσιμες) διαδικασίες που εμπλέκονται στην επεξεργασία δεδομένων που προκύπτουν από την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση τόσο κινητών πολιτιστικών αντικειμένων όσο και ακίνητων μνημείων και χώρων. Στο παρόν κομμάτι γίνεται μια ανάλυση όλης της διαδικασίας παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων με τη χρήση τρισδιάστατων σαρωτών. Αναφέρονται ορισμένα ειδικά προβλήματα που παρουσιάζονται σε ψηφιοποιήσεις αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς καθώς και οι δυσκολίες της συλλογής δεδομένων. Ο διαχωρισμός που γίνεται στις διαδικασίες αλλά και η περιγραφή τους μπορεί να μην συμβαδίζει με όλες τις διαθέσιμες μεθόδους ψηφιοποίησης. Ως εκ τούτου τα βήματα της διαδικασίας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ως ένα γενικευμένο διάγραμμα ροής

εργασιών που μεταβάλλεται ανάλογα με την υιοθετημένη μεθοδολογία αποτύπωσης.

Συνολικά, τα βήματα μιας διαδικασίας ψηφιοποίησης είναι τα εξής:

- Σύλληψη γεωμετρικών δεδομένων
- Προ-επεξεργασία γεωμετρικής πληροφορίας
- Φιλτράρισμα του θορύβου στο νέφους σημείων
- Ομαδοποίηση και οργάνωση των δεδομένων
- Ευθυγράμμιση και ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων
- Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος (meshing)
- Απλοποίηση του πολυγωνικού πλέγματος
- Απαλοιφή γεωμετρικών ασυνεχειών
- Δημιουργία υφής
- Μετατροπή του μοντέλου επιφανειών σε ένα στερεό μοντέλο
- Παρουσίαση μοντέλου στο διαδίκτυο (χρήση VRML)
- Εξαγωγή του τελικού μοντέλου σε σύστημα CAM για την παραγωγή

του

Αρκετά από τα παραπάνω βήματα μπορούν να παραληφθούν. Για παράδειγμα, ορισμένοι τρισδιάστατοι σαρωτές τριγωνοποιούν αυτόματα τα πολλαπλά νέφη σημείων. Σε κάθε περίπτωση, ο αριθμός των βημάτων καθορίζεται από τον τελικό στόχο της αντίστροφης σχεδίασης και την επιθυμητή ακρίβεια. Για παράδειγμα, αν επιθυμείται απλώς μια αναπαράσταση του μοντέλου σε τρισδιάστατο περιβάλλον, η διαδικασία ολοκληρώνεται με τη δημιουργία του τριγωνοποιημένου πλέγματος. Αν όμως απαιτείται η παραγωγή ενός πρωτοτύπου του αντικειμένου ή η εξαγωγή του σε ένα σύστημα CAD, είναι απαραίτητη η δημιουργία NURBS επιφανειών για την αναπαράσταση της τοπολογίας του και την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας.

3.2 Σύλληψη γεωμετρικών δεδομένων

Το πρώτο βήμα, είναι η σύλληψη των γεωμετρικών δεδομένων ενός αντικειμένου με κάποιον σαρωτή. Ο τρόπος εκτέλεσης της συγκεκριμένης διαδικασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του σαρωτή αλλά και τις τεχνικές του προδιαγραφές (π.χ. ταχύτητα αποτύπωσης, φορητότητα, κ.α.). Οποιαδήποτε και αν είναι όμως η μέθοδος σάρωσης που θα εφαρμοσθεί, η διαδικασία καταλήγει σε μια σειρά από τμηματικές σαρώσεις. Οι πολλαπλές σαρώσεις οφείλονται στο γεγονός ότι τα περισσότερα συστήματα σάρωσης απαιτούν την αποτύπωση δεδομένων από διαφορετικές γωνίες, έτσι ώστε να καλύψουν όλες τις επιφάνειες του αντικειμένου. Συνηθισμένο φαινόμενο είναι η χρήση ενός περιστρεφόμενου τραπεζιού, το οποίο συνεργάζεται με το λογισμικό του σαρωτή και του επιτρέπει να γνωρίζει τις θέσεις των τμηματικών σαρώσεων. Σε κάποιες περιπτώσεις το λογισμικό του σαρωτή χειρίζεται και ένα σύνολο από φωτιστικά σώματα που σκοπό έχουν να δημιουργήσουν τις κατάλληλες συνθήκες φωτισμού για την καλύτερη αποτύπωση των δεδομένων επιφανειακής υφής του αντικειμένου. Τις περισσότερες φορές μια σάρωση περιέχει κενά λόγω αδυναμίας άμεσης οπτικής επαφής του οπτικού συστήματος του σαρωτή με συγκεκριμένες περιοχές της επιφάνειας του αντικειμένου. Συχνά όμως εμφανίζονται και τμήματα σαρώσεων με διαφορετική πυκνότητα δεδομένων. Αυτό οφείλεται στην ανάγκη αλλαγής των ρυθμίσεων του σαρωτή, ώστε να αποδίδει καλύτερα σε περιπτώσεις όπου επιβάλλεται η μεταβολή απόστασης του από το αντικείμενο. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο συνηθισμένο σε σαρωτές μεγάλου βεληνεκούς που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην αποτύπωση χώρων και κτηρίων. Ως εκ τούτου το πλήθος των τμηματικών σαρώσεων καθορίζει την ολοκληρωμένη και ομοιογενή αποτύπωση των δεδομένων.

Ο αυτόματος καθορισμός των καλύτερων οπτικών γωνιών για ψηφιοποίηση είναι επίσης ένα δύσκολο πρόβλημα. Η απλούστερη προσέγγιση στην επίλυση αυτού του προβλήματος είναι η χειροκίνητη επιλογή οπτικών γωνιών. Η ψηφιοποίηση θα πρέπει να πραγματοποιείται έχοντας πάντα υπόψη την ελαχιστοποίηση των διαφορετικών σαρώσεων αλλά και την εξασφάλιση

ύπαρξης ενός μεγάλου ποσοστού επικαλυπτόμενων σημείων ανάμεσα στις διαφορετικές σαρώσεις. Πολλοί είναι οι λόγοι που οδηγούν στην πραγματοποίηση σάρωσης με μέγιστη δυνατή ακρίβεια στην περίπτωση εργασιών σάρωσης πολιτιστικών αντικειμένων. Ένας από αυτούς βασίζεται στην αισιόδοξη ιδέα απόκτησης καλύτερων αποτελεσμάτων από τα ίδια δεδομένα. Η αισιόδοξία κρύβεται στο γεγονός ότι καθώς στο μέλλον θα αναπτυχθούν καλύτεροι αλγόριθμοι επεξεργασίας δεν θα απαιτηθεί η επανάληψη της διαδικασίας σάρωσης.

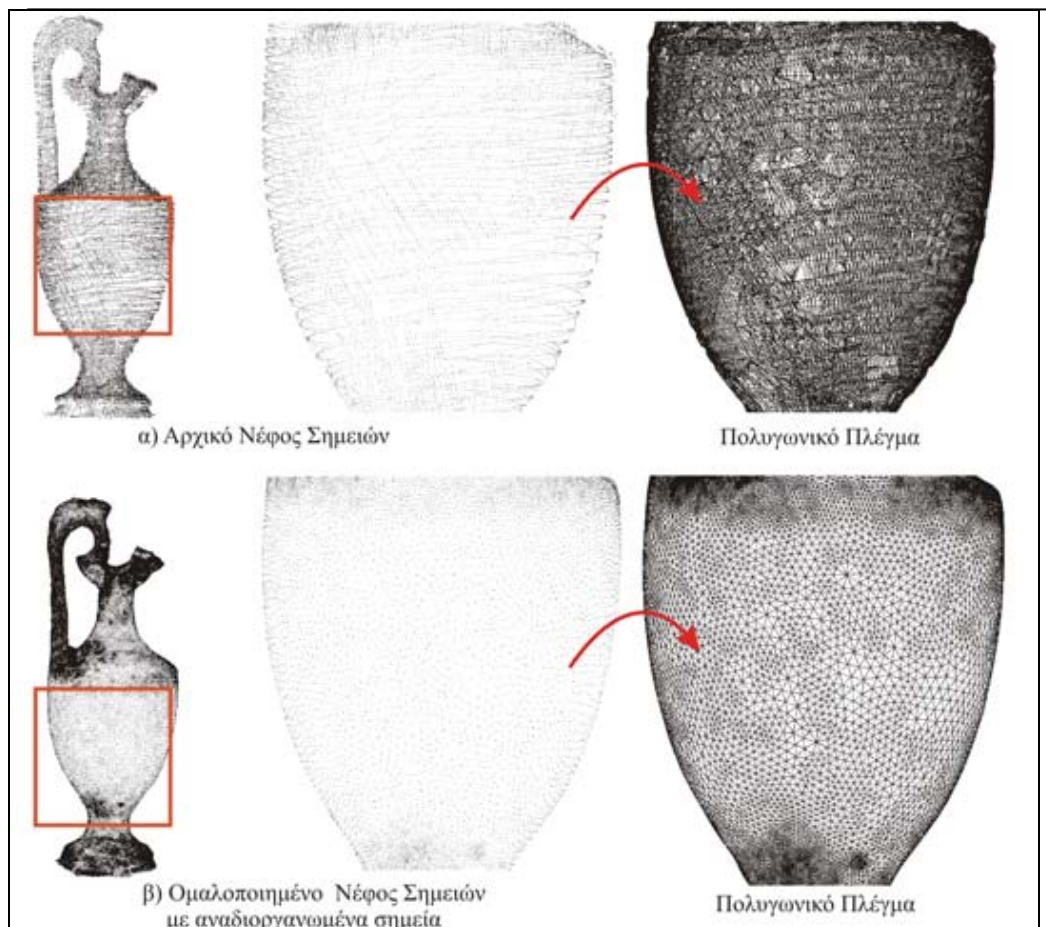
3.3 Προ-επεξεργασία γεωμετρικής πληροφορίας

Η διαδικασία της προ-επεξεργασίας πραγματοποιείται αμέσως μετά την αποτύπωση των δεδομένων γεωμετρίας και περιλαμβάνει ένα σύνολο από μερικώς ασυσχέτιστες εργασίες. Είναι μια διαδικασία που συναντούμε συχνά στα εμπορικά συστήματα ως ενσωματωμένη μέσα στη διαδικασία δημιουργίας πολυγωνικών πλεγμάτων. Ο υπολογισμός των πινάκων καθέτων διανυσμάτων είναι μια από αυτές, κατά την οποία χρησιμοποιείται η γεωμετρική πληροφορία της σάρωσης για να αναγνωριστεί η φορά των διανυσμάτων αυτών για κάθε σημείο. Αυτή είναι πολύ σημαντική πληροφορία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργότερα για την ορθή οπτική αναπαράσταση του αντικειμένου, την ενοποίηση τμημάτων αλλά και την τμηματοποίηση των δεδομένων.

3.4 Φιλτράρισμα του θορύβου στο νέφος σημείων

Τα δεδομένα που αποκτώνται από τους τρισδιάστατους σαρωτές περιέχουν, συνήθως, σφάλματα εξαιτίας της ύπαρξης θορύβου. Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει τα σφάλματα αυτά. Ο θόρυβος εμφανίζεται με τη μορφή τυχαίων σημείων γύρω από την πραγματική επιφάνεια του αντικειμένου. Μια μέθοδος που επιτρέπει την απαλοιφή του θορύβου είναι ο υπολογισμός του μέσου όρου θέσης των σημείων ανάμεσα σε επικαλυπτόμενες σαρώσεις.

Άλλη μια τεχνική βασίζεται στην υπόδειγματοληψία των σημείων του νέφους που πραγματοποιείται βάσει μιας εκτίμησης της επιφάνειας του αντικειμένου. Οι Alexa et al. και Correa et al. εφαρμόζουν την τεχνική Moving Least Square projection (MLS) του Levin για να φιλτράρουν το θόρυβο. Ένα πλήθος αλγορίθμων που προέρχονται από το χώρο της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας ομαλοποιούν τα δεδομένα του νέφους σε δύο διαστάσεις. Οι απλοί γραμμικοί αλγόριθμοι (π.χ. Gaussian smoothing) έχουν το μειονέκτημα να μην μπορούν να ξεχωρίσουν το θόρυβο από τα υψηλής συχνότητας δεδομένα. Έτσι καταλήγουν να ομαλοποιούν τις άκρες και τις λεπτομέρειες των αντικειμένων. Γενικότερα οι μη-γραμμικοί αλγόριθμοι είναι καταλληλότεροι για αφαίρεση του θορύβου. Στην Εικόνα 3.3 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ομαλοποίησης νέφους σημείων για ένα σχετικά απλό αντικείμενο πολιτιστικής κληρονομιάς.



Εικόνα 3.3 Ομαλοποίηση νέφους σημείων

3.5 Ομαδοποίηση και οργάνωση των δεδομένων

Η διαχείριση του μεγάλου όγκου δεδομένων που παράγουν οι σαρωτές είναι ένα από τα βασικότερα προβλήματα κατά την διάρκεια της επεξεργασίας. Το μέγεθος των δεδομένων οδηγεί τα υπολογιστικά συστήματα στα όρια λειτουργίας τους, ιδιαίτερα όταν απαιτείται αλληλεπίδραση με τον χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Η διαδικασία της ομαδοποίησης των δεδομένων αποτελεί μια λύση στο πρόβλημα. Ειδικές δομές δεδομένων (οκταδικά και δυαδικά δέντρα) οργανώνουν με τέτοιο τρόπο τα δεδομένα, ώστε η προσπέλαση τους να γίνεται έξυπνα και γρήγορα ανάλογα με την οπτική γωνία υπό την οποία εμφανίζεται το αντικείμενο. Οι δομές αυτές επιτρέπουν τη μερική εμφάνιση των δεδομένων και προσφέρουν την δυνατότητα επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο χωρίς την ανάγκη ταυτόχρονης προσπέλασης όλου του όγκου πληροφορίας.

3.6 Ευθυγράμμιση και ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων

Οι τμηματικές σαρώσεις πρέπει να ευθυγραμμισθούν μεταξύ τους έτσι ώστε να μπορεί να σχηματιστεί η πλήρης γεωμετρική απόδοση του αντικειμένου. Η διαδικασία αυτή μπορεί να είναι εξ' ολοκλήρου αυτοματοποιημένη εάν είναι γνωστή στο λογισμικό η θέση του σαρωτή σε κάθε τμηματική σάρωση. Όταν κάτι τέτοιο δεν ισχύει, η διαδικασία πρέπει να γίνει, αρχικά τουλάχιστον, χειροκίνητα. Ο χρήστης τοποθετεί με τη βοήθεια του λογισμικού τα τμήματα σε κάποιες θέσεις, οι οποίες θα βελτιωθούν στη συνέχεια αυτόματα από το ίδιο το λογισμικό. Ο χρήστης συνήθως ορίζει κάποια κοινά σημεία πάνω στις τμηματικές σαρώσεις, τα οποία θα χρησιμοποιήσει το λογισμικό για να τις ευθυγραμμίσει. Πάντως, τα περισσότερα συστήματα, σήμερα, βασίζονται στην ανθρώπινη παρέμβαση. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί εύχρηστα διαδραστικά εργαλεία που υποβοηθούν με τη δυνατότητα άμεσης επιλογής χαρακτηριστικών ανάμεσα στις τμηματικές σαρώσεις. Το λογισμικό βασίζεται στα σημεία που θα του δώσει ο χρήστης για να δημιουργήσει τους κατάλληλους χωρικούς

μετασχηματισμούς που θα αποφέρουν την ευθυγράμμιση των τμημάτων. Η χειροκίνητη ευθυγράμμιση απαιτεί αρκετό χρόνο, ίσως τον περισσότερο από όλα τα υπόλοιπα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων. Η αυτοματοποιημένη εξακρίβωση των χαρακτηριστικών ανάμεσα στις τμηματικές σαρώσεις είναι μια επιθυμητή αλλά ταυτόχρονα δύσκολη διαδικασία. Αποτελεί, άλλωστε, ενεργό χώρο μελέτης και έρευνας. Όταν το πλήθος των τμηματικών σαρώσεων αγγίζει τις αρκετές δεκάδες, τότε η ευθυγράμμιση θα πρέπει να γίνεται σε επίπεδο ομάδων. Οι ομάδες ορίζονται συνήθως από το χρήστη. Γενικά, η ευθυγράμμιση τμηματικών σαρώσεων πραγματοποιείται ευκολότερα σε κλειστά αντικείμενα (π.χ. ένα βάζο) από ότι σε ανοικτά (π.χ. μια μαρμάρινη ανάγλυφη διακόσμηση). Ο αλγόριθμος επαναληπτικής προσέγγισης σημείου (ICP) έχει γίνει από όλους αποδεκτός ως η πιο χρήσιμη μέθοδος για ενοποίηση δεδομένων από διαφορετικά νέφη σημείων. Η πρώτη περιγραφή του αλγορίθμου έγινε από τους Besl και McKay το 1992.

Ο αλγόριθμος πραγματοποιείται σε δύο διακριτά βήματα: κατά το πρώτο βήμα πραγματοποιείται η αναγνώριση αντίστοιχων σημείων, ενώ κατά το δεύτερο γίνεται εκτίμηση του χωρικού μετασχηματισμού που θα ελαχιστοποιήσει την απόσταση ανάμεσα τους. Η εκτέλεση των δύο αυτών βημάτων επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό συνταίριασμα. Ο αλγόριθμος δεν έχει υψηλές απαιτήσεις υπολογιστικής ισχύος και αποφέρει αποτελέσματα ικανοποιητικής ακρίβειας. Βασικό του μειονέκτημα είναι η αστάθεια που παρουσιάζει σε ομαλές επιφάνειες. Άλλες μέθοδοι ευθυγράμμισης βασίζονται σε κάποια ειδικά αντικείμενα έλεγχου (π.χ. σφαίρες, κυλίνδρους και επίπεδα). Τα αντικείμενα ελέγχου τοποθετούνται γύρω από το αντικείμενο προς ψηφιοποίηση. Τα αντικείμενα ελέγχου ψηφιοποιούνται μαζί με το αντικείμενο και μπορούν να αναγνωριστούν αυτόματα από το λογισμικό, το οποίο, αναγνωρίζοντας τη θέση τους, ευθυγραμμίζει τις τμηματικές σαρώσεις. Το μειονέκτημα στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι πως σε κάθε σάρωση θα πρέπει να εμφανίζονται τουλάχιστον τρία από τα αντικείμενα ελέγχου. Μετά την ευθυγράμμιση των τμηματικών σαρώσεων, σειρά έχει η συγχώνευση και ενοποίησή τους (Εικόνα 3.4). Είναι η πλέον απαιτητική διαδικασία σε επίπεδο πόρων για ένα υπολογιστικό σύστημα. Πολλές φορές οι

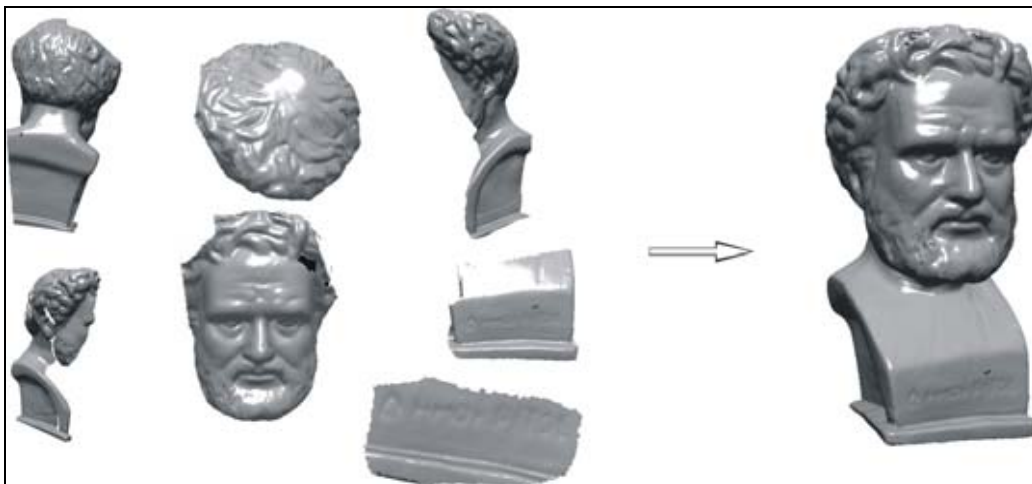
ίδιες οι εταιρείες ανάπτυξης του λογισμικού προτείνουν τον έλεγχο των διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων, αφού ο όγκος των δεδομένων υπερβαίνει κατά πολύ την χωρητικότητα της μνήμης ενός απλού υπολογιστή. Κατά τη διαδικασία ενοποίησης, το λογισμικό αναλαμβάνει να αφαιρέσει τα πλεονάζοντα σημεία που έχουν παραχθεί στα επικαλυπτόμενα τμήματα των σαρώσεων.

Η ενοποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικά επίπεδα:

- Σε επίπεδο σημείων, αμέσως μετά την ευθυγράμμιση των τμημάτων: το λογισμικό εξετάζει εάν κάποιο σημείο μιας σάρωσης εμφανίζεται και σε κάποια άλλη σάρωση, και δεν το λαμβάνει στο εξής υπόψη

- Σε επίπεδο περιοχής-αντικειμένου: καθώς τα δεδομένα μοντελοποιούνται, τα τμήματα που αναγνωρίζονται ως κοινά συγχωνεύονται

- Άμεση αναγνώριση: η αναγνώριση των σημείων γίνεται άμεσα πάνω σε ένα νέφος σημείων που αποτελείται από όλες τις τμηματικές σαρώσεις. Η μοντελοποίηση πάνω στο τρισδιάστατο νέφος σημείων είναι δύσκολη και απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ.



Εικόνα 3.4 Ενοποίηση αντικειμένου

3.7 Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος (meshing)

Η διαδικασία αυτή αποτελεί τον πιο αντιπροσωπευτικό και ευρέως διαδεδομένο αλγόριθμο οπτικής αναπαράστασης τρισδιάστατων επιφανειών. Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι τριγωνοποίησης που έχουν ως κοινό στόχο τη μετατροπή ενός νέφους σημείων σε μια συνεχόμενη επιφάνεια από τρίγωνα (γνωστή και ως πολυγωνικό πλέγμα). Το πολυγωνικό πλέγμα αποτελεί μια πιο «διαισθητική» απόδοση του αντικειμένου, ιδιαίτερα όταν εφαρμοστεί πάνω του η πληροφορία υψής. Σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης πολυγωνικών πλεγμάτων είναι η σημαντική μείωση του όγκου δεδομένων που απαιτείται για την περιγραφή τρισδιάστατης γεωμετρίας. Το πολυγωνικό πλέγμα επιτρέπει τη διαδραστική μελέτη του τρισδιάστατου αντικείμενου για εξαγωγή διαστάσεων, ορθογραφικών φωτογραφιών, κ.α. Ορισμένοι αλγόριθμοι υπολογίζουν το πλέγμα προοδευτικά, βασιζόμενοι στην πληροφορία που παρέχουν τα γειτονικά σημεία του νέφους. Άλλοι, πιο πολύπλοκοι, αποφασίζουν και για την ανάλυση του πλέγματος σε κάθε περιοχή ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των επιφανειών που δημιουργούν (καμπύλες και επίπεδα). Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι ότι ο θόρυβος που έχει καταφέρει να δια-φύγει από το αρχικό φιλτράρισμα του νέφους εμφανίζεται πιο έντονος στις επιφάνειες του τριγωνικού πλέγματος.

3.8 Απλοποίηση του πολυγωνικού πλέγματος

Όπως έχει ήδη επισημανθεί, η μείωση της γεωμετρικής πληροφορίας είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική διαχείριση των τρισδιάστατων μοντέλων. Η απλοποίηση της γεωμετρίας πραγματοποιείται σε περιοχές της επιφάνειας του αντικείμενου που δεν παρουσιάζουν έντονες μεταβολές. Ένας ρυθμός δειγματοληψίας της τάξης των 0,22 χιλιοστών για μια επίπεδη επιφάνεια, αποδεικνύεται μάλλον άστοχος, αφού κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, η ίδια επιφάνεια θα μπορούσε να περιγραφεί από ελάχιστα σημεία. Οι σύγχρονοι αλγόριθμοι απλοποίησης γεωμετρίας αναγνωρίζουν αυτόματα τα

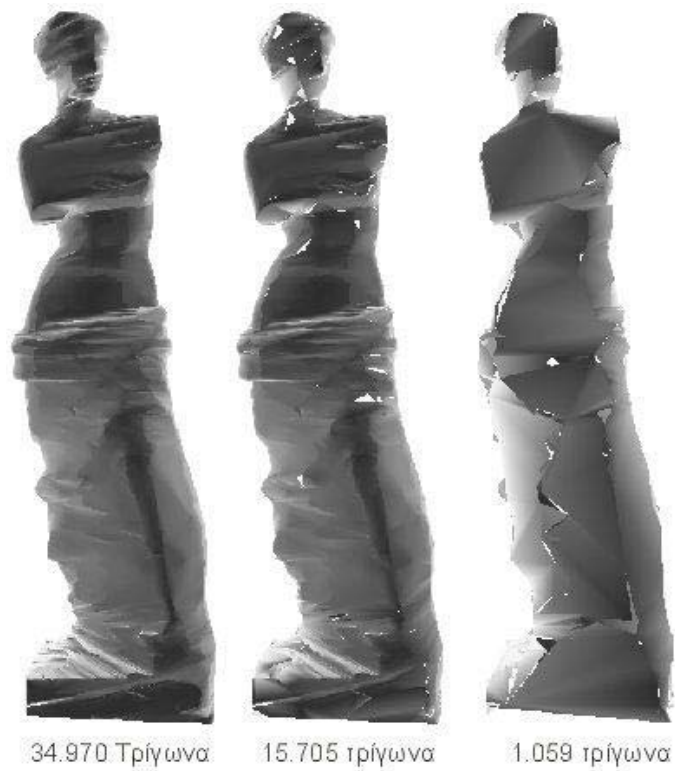
τμήματα ενός τρισδιάστατου μοντέλου που μπορούν να υποστούν απλοποίηση χωρίς να υποβαθμιστεί η ποιότητα τους. Ειδικές δομές δεδομένων διαχωρίζουν τη γεωμετρία του μοντέλου σε τμήματα. Ο διαχωρισμός γίνεται με κριτήριο την πολυμορφία της επιφάνειας ανάλογα με την περιοχή. Η οργάνωση των δεδομένων κατά αυτό τον τρόπο συνεισφέρει στην αφαίρεση πληροφορίας ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε περιοχής. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της ομάδας που εργάστηκε στην ψηφιοποίηση του Δαβίδ²² (Digital Michelangelo Project). Η ερευνητική ομάδα ανέπτυξε έναν αλγόριθμο που βασίζεται στην τεχνική της εικονικής μνήμης και καταφέρνει να επεξεργαστεί και να απλοποιήσει μοντέλα με εντυπωσιακά αποτελέσματα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το αρχικό μοντέλο του Δαβίδ έφερε 2 δισεκατομμύρια τρίγωνα, τα οποία μειώθηκαν σε μόλις 56 εκατομμύρια. Σε κάποιες περιπτώσεις η απλοποίηση μπορεί να θεωρηθεί απλά μια προσπάθεια συμβιβασμού ανάμεσα στην ποιότητα του τρισδιάστατου μοντέλου και του όγκου δεδομένων που το περιγράφει. Με την εφαρμογή ενός αλγορίθμου απλοποίησης η απώλεια πληροφορίας είναι, προφανώς, αναπόφευκτη. Ο Πίνακας V συνοψίζει τις μειώσεις που δέχεται ένα τρισδιάστατο μοντέλο²³, που προέρχεται από αρχικό πολυγωνικό πλέγμα 34.970 τριγώνων, υπό την επίδραση διαφόρων μεθόδων απλοποίησης γεωμετρίας. Οι αλγόριθμοι που συγκρίνονται είναι οι Quadric Error, Quadric Error Weighted, Απλοποίηση του Stan Melax και ένας απλός αλγόριθμος που αφαιρεί σε κάθε εκτέλεση του τις μικρότερες σε μήκος τριγωνικές πλευρές. Το πολυγωνικό πλέγμα απλοποιείται με σταθερό ποσοστιαίο βήμα ενώ τα αποτελέσματα που περιέχει ο παρακάτω πίνακας ανταποκρίνονται στο τελικό πλήθος των τριγώνων του πλέγματος. Ας σημειωθεί ότι η απλοποίηση εφαρμόζεται στο αρχικό γεωμετρικό πλέγμα.

Ποσοστό απλοποίησης (%)	(Α) Quadric Error Weighted	(Β) Quadric Error	(Γ) Melax's Simplification	(Δ) Shortest Edge First
95%	1.059	1.040	1.403	1.444
90%	2.132	2.116	2.936	3.053
85%	3.203	3.267	4.559	4.708
80%	4.228	4.632	6.195	6.381
75%	5.975	6.205	7.883	8.039
70%	7.949	7.959	9.614	9.762
65%	9.897	9.782	11.400	11.470
60%	11.838	11.582	13.128	13.219
55%	13.774	13.429	14.900	14.957
50%	15.705	15.310	16.698	16.682
45%	17.621	17.198	18.550	18.437
40%	19.558	19.116	20.309	20.172
35%	21.500	21.111	22.081	21.955
30%	23.432	23.120	23.963	23.711
25%	25.136	25.100	25.933	25.467
20%	27.172	27.209	27.901	27.169
15%	29.294	29.292	29.766	28.849
10%	31.271	31.217	31.656	30.602
5%	33.167	33.132	33.440	34.920
0%	34.970	34.970	34.970	34.970

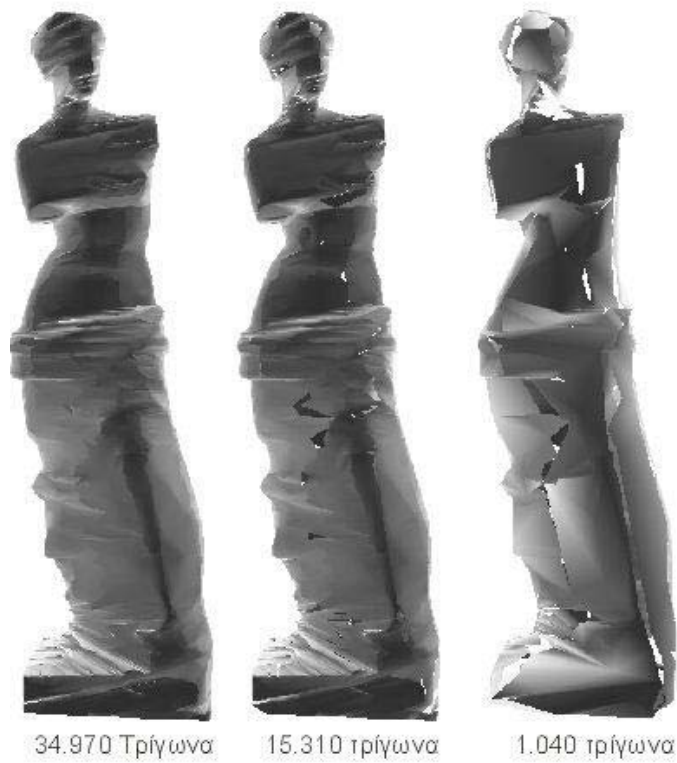
Πίνακας 3.5 Μείωση πολυγωνικού πλέγματος με χρήση αλγορίθμου

Ενδιάμεσα στάδια διαδικασιών παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 3.6, Εικόνα 3.7). Χαρακτηριστικό φαινόμενο είναι η εμφάνιση κενών (ασυνέχειες στο πολυγωνικό πλέγμα) στις απλοποιημένες εκδόσεις της γεωμετρίας. Αυτό γίνεται ιδιαίτερα εμφανές στον αλγόριθμο (Δ) όπου τα κενά εμφανίζονται πολύ νωρίς (πολύ πιο πριν από τις άλλες μεθόδους). Κάποια βασικά χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια αξιολόγησης ενός αλγορίθμου απλοποίησης γεωμετρίας είναι τα παρακάτω:

- Αποτελεσματικότητα: η ικανότητα του αλγορίθμου να απλοποιεί με γρήγορους ρυθμούς σύνθετα μοντέλα
- Ποιότητα: οι προσεγγίσεις που προκύπτουν από τον αλγόριθμο διατηρούν την υψηλότερη δυνατή πιστότητα των λεπτομερειών του αρχικού μοντέλου
- Γενικότητα: η αναμενόμενη παρόμοια συμπεριφορά του αλγορίθμου κάτω από οποιεσδήποτε πιθανές μορφές επιφάνειας



Quadric - Garland & Heckbert [100]



Quadric - Garland & Heckbert [100]

Εικόνα 3.6 Σταδιακή μείωση πολυγωνικού πλέγματος (αλγόριθμος Garland & Heckbert)



Αλγόριθμος Stan Melax [101]

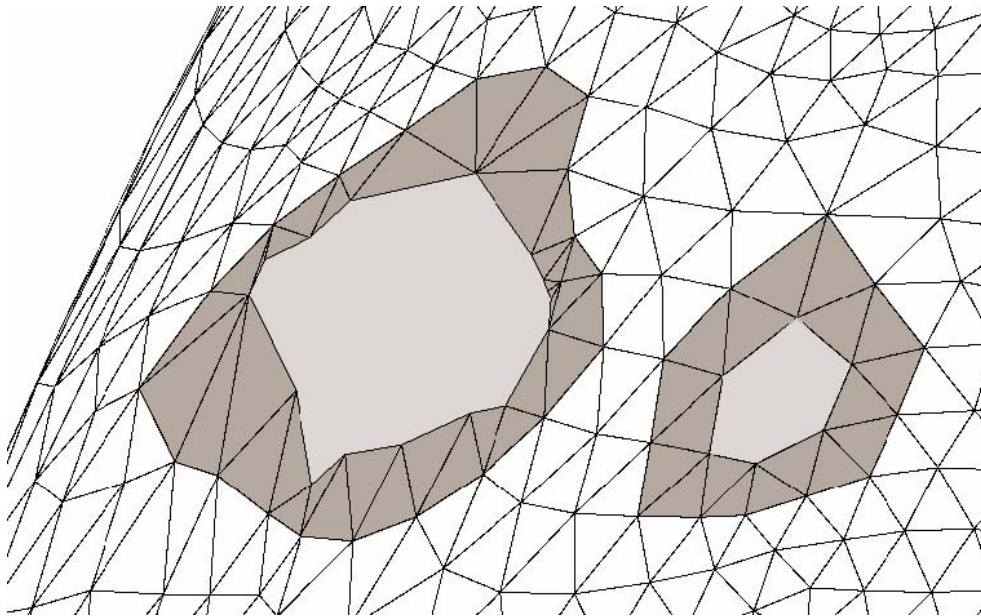


Shortest Edge Αλγόριθμος - Jeff Somers [102]

Εικόνα 3.7 Σταδιακή μείωση πολυγωνικού πλέγματος (αλγόριθμος shortest edge – Jeff Somers)

3.9 Απαλοιφή γεωμετρικών ασυνεχειών

Σε ομαλές ή επίπεδες επιφάνειες η συμπλήρωση των κενών μπορεί να πραγματοποιηθεί με μια απλή διαδικασία παρεμβολής (interpolation). Οι Wang και Oliveira περιγράφουν μια διαδικασία για την αυτόματη αναγνώριση γεωμετρικών ασυνεχειών και της απαλοιφής τους. Τα κενά αναγνωρίζονται αναλύοντας το τριγωνικό πλέγμα σε κυκλική φορά, ενώ, ταυτόχρονα, πραγματοποιείται αναζήτηση για μη κοινές πλευρές (Εικόνα 3.8). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δε δύναται να αναγνωρίσει τα σημεία της επιφάνειας όπου πραγματικά υπάρχει ασυνέχεια. Επίσης δεν αντιλαμβάνεται τις περιοχές που πάσχουν από υπό-δειγματοληψία (αραιά τοποθετημένα τρίγωνα). Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται η συμμετοχή του χρήστη. Μόλις αναγνωριστεί το κενό δημιουργούνται τα ενδιάμεσα σημεία βάσει των γειτονικών τους. Τα τρίγωνα που εμφανίζονται χρωματισμένα με γκρι σκούρο χρώμα στην Εικόνα 3.8 αποτελούν τα συμφραζόμενα παρεμβολής, πάνω στα οποία βασίζεται ο αλγόριθμος για να γεμίσει το κενό.



Εικόνα 3.8

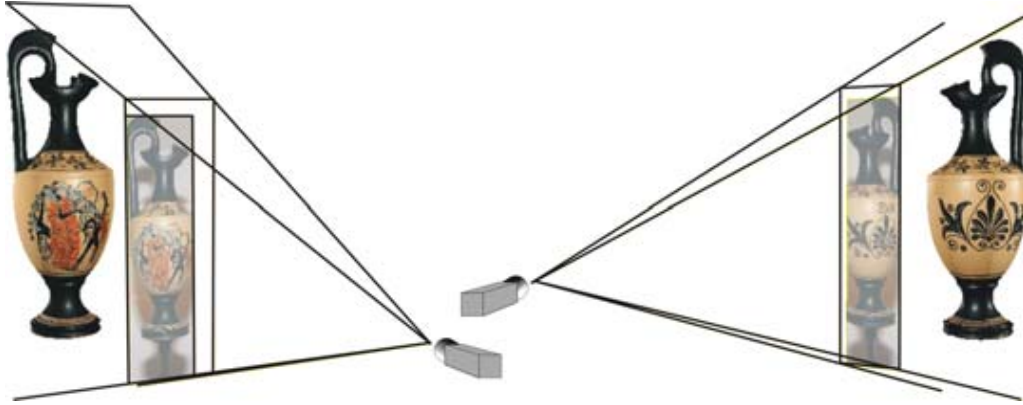
Αν και υπάρχουν αρκετές και διαφορετικές τεχνικές απαλοιφής ασυνεχειών, τα αποτελέσματά τους, τις περισσότερες φορές, δε συμβαδίζουν με την πληροφορία που φέρουν τα πραγματικά αντικείμενα. Παρόλα αυτά, όμως, αποτελούν τη μοναδική λύση αντιμετώπισης του συγκεκριμένου

προβλήματος. Μια εναλλακτική τεχνική για τη συμπλήρωση κενών σε νέφη σημείων έχει προταθεί από τους Carr et al. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί πολυ-αρμονικές πολικές συναρτήσεις. Μπορεί και διαχειρίζεται μεγάλους όγκους δεδομένων και παράγει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως τεχνική τμηματοποίησης και αναδιοργάνωσης νεφών σημείων.

3.10 Δημιουργία υφής

Σε εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής, η χρωματική πληροφορία υφής των αντικειμένων που ψηφιοποιούνται δεν είναι απαραίτητη και αποτελεί πλεονασμό. Η συγκεκριμένη άποψη έρχεται σε αντίθεση με τις ανάγκες ψηφιοποίησης των πολιτισμικών αντικειμένων. Η πληροφορία υφής προσδίδει στο αντικείμενο φωτορεαλισμό. Μεγάλο τμήμα της πληροφορίας που φέρουν τα πολιτιστικά αντικείμενα βρίσκεται αποτυπωμένο στην υφή τους. Πάμπολλες είναι, για παράδειγμα, οι περιπτώσεις στις οποίες η διακόσμηση ενός αρχαιολογικού ευρήματος φέρει ζωτικής σημασίας πληροφορία για έναν αρχαιολόγο. Η τεχνητή ανακατασκευή της όψης ενός αντικειμένου είναι ένα από τα τελευταία στάδια της διαδικασίας ψηφιοποίησης. Πολλές εφαρμοσμένες τεχνικές προβάλουν, άμεσα, φωτογραφίες πάνω στη γεωμετρία του αντικειμένου για να δημιουργήσουν τους λεγόμενους χάρτες υφής (texture maps) (Εικόνα 3.9). Διαφορετικές εικόνες συγχωνεύονται για τη δημιουργία του τελικού χάρτη υφής. Η συγχώνευση αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση κάποιων τεχνικών ανάμιξης των χρωμάτων ανάμεσα στα όρια των εικόνων. Εκτός από το μεγάλο πλεονέκτημα της ρεαλιστικής απόδοσης του αντικειμένου, η συγκεκριμένη μεθοδολογία παρουσιάζει κάποια προβλήματα. Η πληροφορία υφής του αντικειμένου εμφανίζεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού, οι οποίες είναι, πολλές φορές, απαγορευτικές για διαδικασίες φωτορεαλιστικής απόδοσης. Με άλλα λόγια, το αντικείμενο εμφανίζεται πάντα στις συνθήκες φωτισμού που περιέχουν οι φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την δημιουργία του τελικού χάρτη υφής.

Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο, έχουν πραγματοποιηθεί πάμπολλες μελέτες για την παραγωγή χαρτών υφής ανεξαρτήτως συνθηκών φωτισμού.



Εικόνα 3.9 Δημιουργία χάρτη υφής

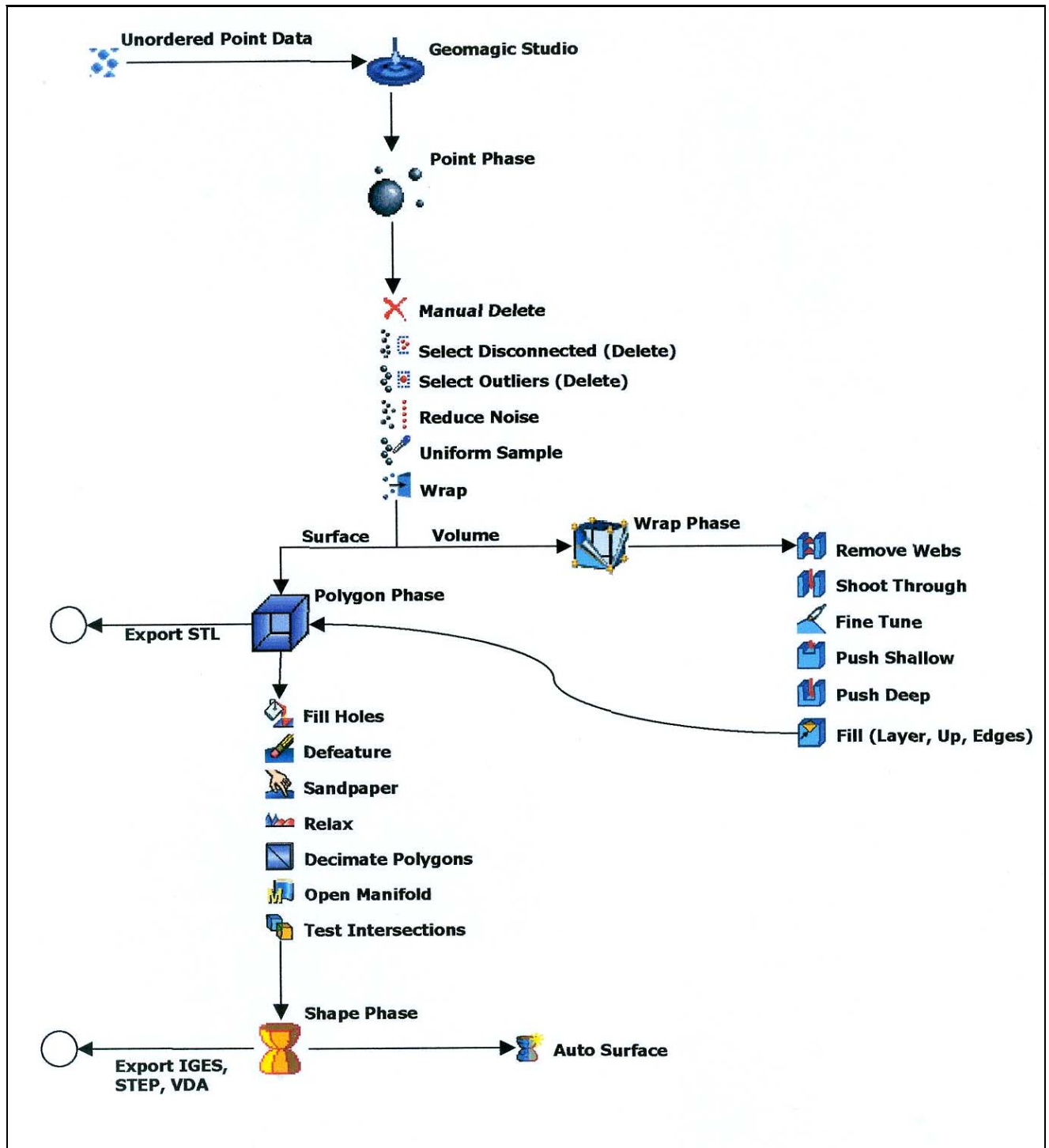
Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, εκτός από την ανακατασκευή γεωμετρίας στα σημεία όπου υπάρχουν κενά, κάποιες φορές, είναι απαραίτητη και η ανακατασκευή της πληροφορίας υφής. Η διαδικασία των *moving-least-squares* μπορεί να εφαρμοστεί για την ανακατασκευή τεχνητών ομαλά μεταβαλλόμενων χρωμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση της χρωματικής τιμής ενός εικονοστοιχείου ανάλογα με τις τιμές που έχει η γεωμετρία στον άξονα Z στο συγκεκριμένο σημείο και με την πληροφορία από τα γειτονικά εικονοστοιχεία.

B. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4 Περιγραφή του Raindrop Geomagic Studio 7

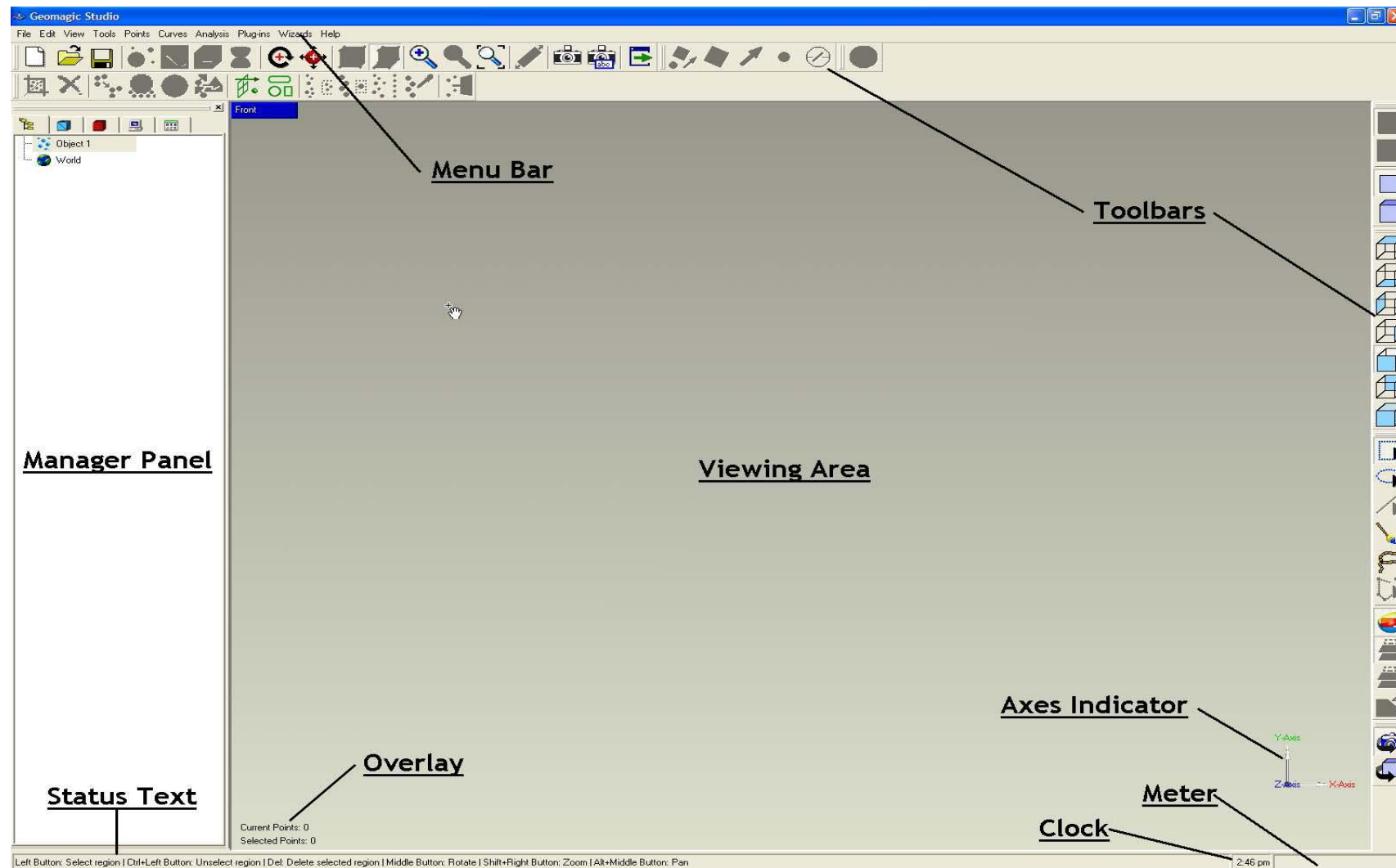
Η Raindrop Geomagic αποτελεί μια εταιρεία λογισμικού που ασχολείται κυρίως με την δημιουργία προγραμμάτων που επεξεργάζονται τρισδιάστατα δεδομένα. Τα προγράμματα αυτά βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορους τομείς της τεχνολογίας και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι λύσεις που προσφέρει αποτελούν δυνατό εργαλείο στους τομείς σχεδίασης και κατασκευών.

Παρακάτω παρουσιάζουμε ένα λογικό διάγραμμα ροής που μας περιγράφει τη συνήθη σειρά που ακολουθούμε για την επεξεργασία των δεδομένων μας στην περίπτωση μη οργανωμένου νέφους σημείων μονής σάρωσης. Το διάγραμμα αυτό μαζί με τις βασικές εντολές του προγράμματος αναλύεται λεπτομερώς στη συνέχεια. Το παρακάτω διάγραμμα αποτελεί ένα προτεινόμενο τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων μας. Δεν αποτελεί το μοναδικό τρόπο, με βάση τη σειρά που παρουσιάζονται οι διάφορες λειτουργίες του.



Εικόνα 4.1 Μη οργανωμένο νέφος σημείων μονής σάρωσης

Πριν ξεκινήσουμε την περιγραφή του παραπάνω διαγράμματος ροής, παρουσιάζουμε παρακάτω το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος.



Εικόνα 4.2 Περιβάλλον εργασίας Geomagic Studio 7

Με βάση το σχήμα 4.2, αναλύουμε τα μέρη που παρουσιάζονται:

- Viewing area: εμφανίζει τα τρέχοντα αντικείμενα εργασίας. Στην περιοχή αυτή μπορούν να γίνουν επιλογές πάνω στο αντικείμενο επεξεργασίας
- Menu bar: παρέχει πρόσβαση σε όλες τις εντολές του λογισμικού
- Toolbars: αντίθετα από το menu bar, παρέχει συντομεύσεις στις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες εντολές
- Manager panel: περιέχει τις ταμπέλες διαχείρισης μέσω των οποίων ελέγχονται πολλές λειτουργίες των προβαλλόμενων αντικειμένων
- Overlay: παρέχει πληροφορίες για το μοντέλο, για το μέγεθος των περιθωρίων και τη χρήση μνήμης. Η εικόνα ελέγχεται από την ταμπέλα του Display Manager στο Manager panel.
- Axes Indicator: εμφανίζει τον τρέχοντα προσανατολισμό των αξόνων συντεταγμένων με βάση το αντικείμενο.
- Status text: παρέχει πληροφορίες στο χρήστη σχετικά με το τι κάνει το σύστημα και ποιες εργασίες είναι έτοιμο να εκτελέσει
- Meter: Εμφανίζει την πρόοδο μιας λειτουργίας
- Clock: Εμφανίζει την ώρα

Tabs available in the Manager Panel	
	<i>Model Manager</i> – Displays all the available objects within the active model.
	<i>Primitives Manager</i> – Controls the various object display items.
	<i>Texture Manager</i> – Controls setting for applying textures to the active objects.
	<i>Display Manager</i> – Controls the display of various items in the Viewing Area, such as Axes Indicator.
	<i>Dialog Manager</i> – Manages all primary dialogs for each command.
	<i>Batch Processing Manager</i> – Only available when File > Batch Processing is selected.

Εικόνα 4.3 Διαθέσιμες λειτουργίες του Manager Panel

Στην εικόνα 4.3 παρουσιάζονται οι διαθέσιμες λειτουργίες του Manager Panel. Αναλυτικότερα, οι επιλογές που έχουμε είναι:

- Model Manager: Εμφανίζει όλα τα διαθέσιμα αντικείμενα του ενεργού μοντέλου
- Primitives Manager: Ελέγχει την εικόνα των ποικίλων αντικειμένων του μοντέλου
- Texture Manager: Ελέγχει τις ρυθμίσεις για την εφαρμογή υφής στο ενεργό μοντέλο
- Display Manager: Ελέγχει την εικόνα των αντικειμένων στην Viewing Area, όπως το Axes Indicator
- Dialog Manager: Ελέγχει όλους τους προηγούμενους διάλογους για κάθε εντολή
- Batch Processing Manager: Διαθέσιμο μόνο όταν είναι επιλεγμένο το File > Batch Processing

Προχωράμε με την σταδιακή εξήγηση του διαγράμματος ροής της εικόνας 4.1 ώστε να γίνει κατανοητή η διαδικασία που θα εφαρμόσουμε στο αντικείμενο που θα επεξεργαστούμε για να φτάσουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Σαν γενική περιγραφή, ξεκινάμε με την πρώτη φάση (point phase) από όπου εξάγουμε το νέφος σημείων και προετοιμάζουμε τα δεδομένα για την διαδικασία του Wrapping. Όταν το αντικείμενο τελειώσει τη φάση του Wrap, τότε προχωρά στην Polygon phase όπου γεμίζονται τυχόν τρύπες και απομακρύνονται ασυνέχειες. Μετά από αυτή τη φάση καταλήγουμε στην Shape phase όπου χρησιμοποιούνται επιφάνειες Nurbs πάνω από την πολυγωνική μορφή του αντικειμένου. *Στην δική μας περίπτωση θα ασχοληθούμε μέχρι και την Polygon phase, έπειτα από την οποία θα εξάγουμε κατάλληλης μορφής αρχείο (τύπου *.stl).*

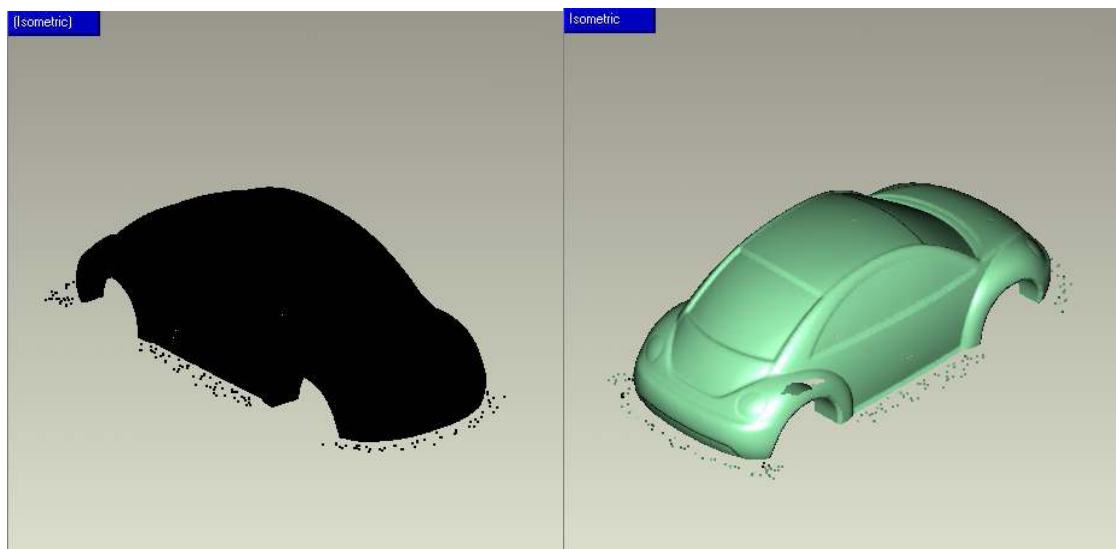


Εικόνα 4.4 point phase

polygon phase

shape phase

Ένα από τα βασικότερα πράγματα πριν ξεκινήσουμε την επεξεργασία των δεδομένων είναι να γνωρίζουμε τη μορφή του αντικειμένου. Αυτό θα μας διευκολύνει ώστε να μπορέσουμε να διακρίνουμε τυχόν ασάφειες χαρακτηριστικών της επιφάνειας του αντικειμένου που μπορεί να προκύψουν από την εφαρμογή των αλγορίθμων του προγράμματος (π.χ. αλγόριθμοι μείωσης θορύβου, τριγωνοποίησης πλέγματος, κ.τ.λ.) και να τις διορθώσουμε. Με τις δυνατότητες που δίνει το πρόγραμμα είναι δυνατή η σκίαση του μοντέλου, η περιστροφή, η μετατόπιση, η αλλαγή μεγέθους του και πολλές άλλες δραστηριότητες οπτικής απεικόνισης.

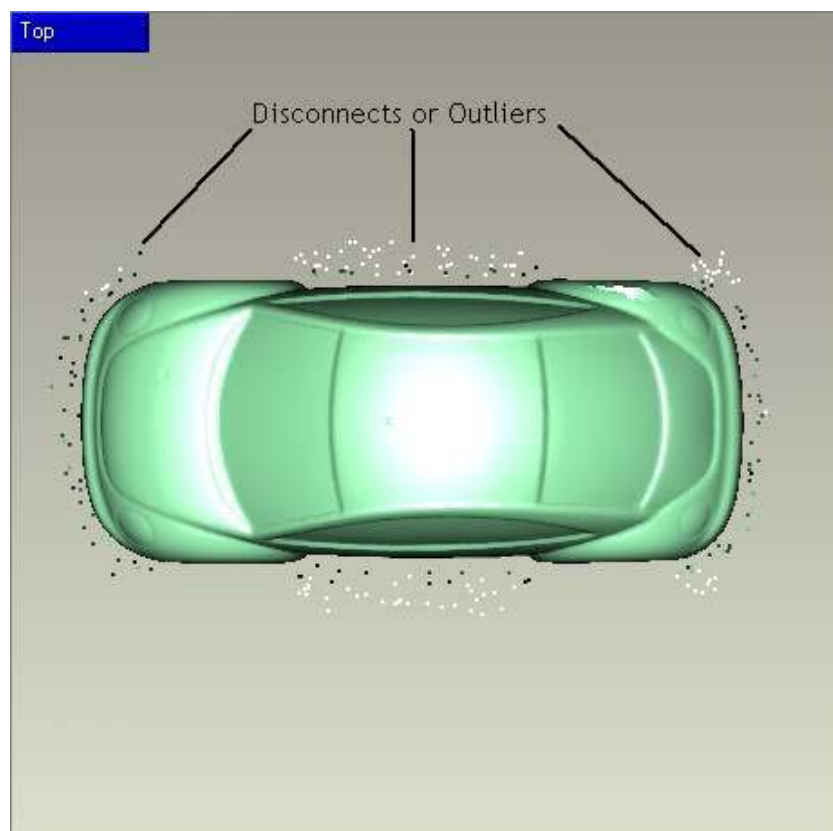


Εικόνα 4.5 νέφος σημείων από σάρωση

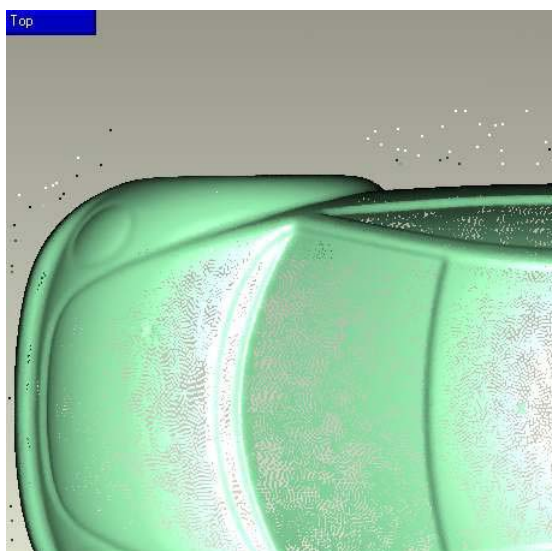
σκιασμένο αντικείμενο

a) Καθαρισμός σημείων : κατά τη σάρωση ενός αντικειμένου πολλές φορές σαρώνονται και αντικείμενα που μπορεί να βρίσκονται στο

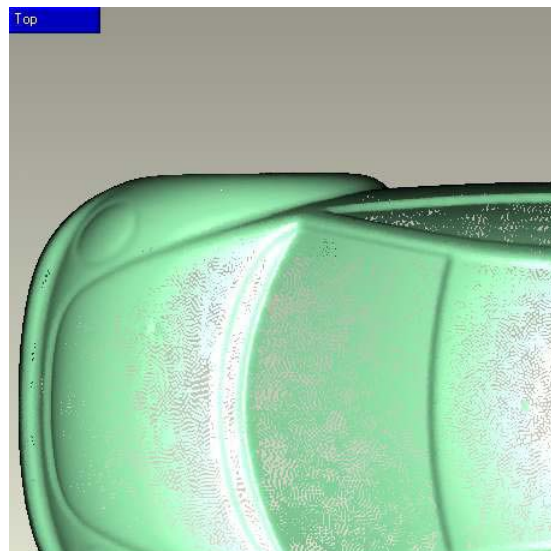
φόντο όπως τραπεζομάντιλα, τοίχοι, εικόνες κτλ. Χρειαζόμαστε να απομακρύνουμε αυτά τα περιττά σημεία τα οποία συνήθως βρίσκονται στα όρια του αντικείμενου, αλλά όχι μόνο (disconnects or outliers). Πολλές φορές τα σημεία αυτά αναγνωρίζονται ως σημεία που είναι μακριά από το κυρίως νέφος σημείων και δεν παρουσιάζουν κάποια συγκεκριμένη γεωμετρία. Τα σημεία αυτά απομακρύνονται είτε αυτόματα με τη χρήση κάποιων αλγορίθμων είτε χειροκίνητα. Για δυσδιάκριτα νέφη σημείων και για μεγαλύτερη ακρίβεια, η χειροκίνητη διαγραφή του θορύβου παρέχει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα. Για τον αυτόματο καθαρισμό των σημείων χρησιμοποιούνται οι εντολές Select Disconnected, Select Outliers όπου με την κατάλληλη ρύθμιση κάποιων παραμέτρων γίνεται αυτόματος καθαρισμός του νέφους σημείων στα όρια του αντικείμενου. Παρακάτω παρουσιάζονται αποτελέσματα επιλογής και απομάκρυνσης του θορύβου από το νέφος σημείων.



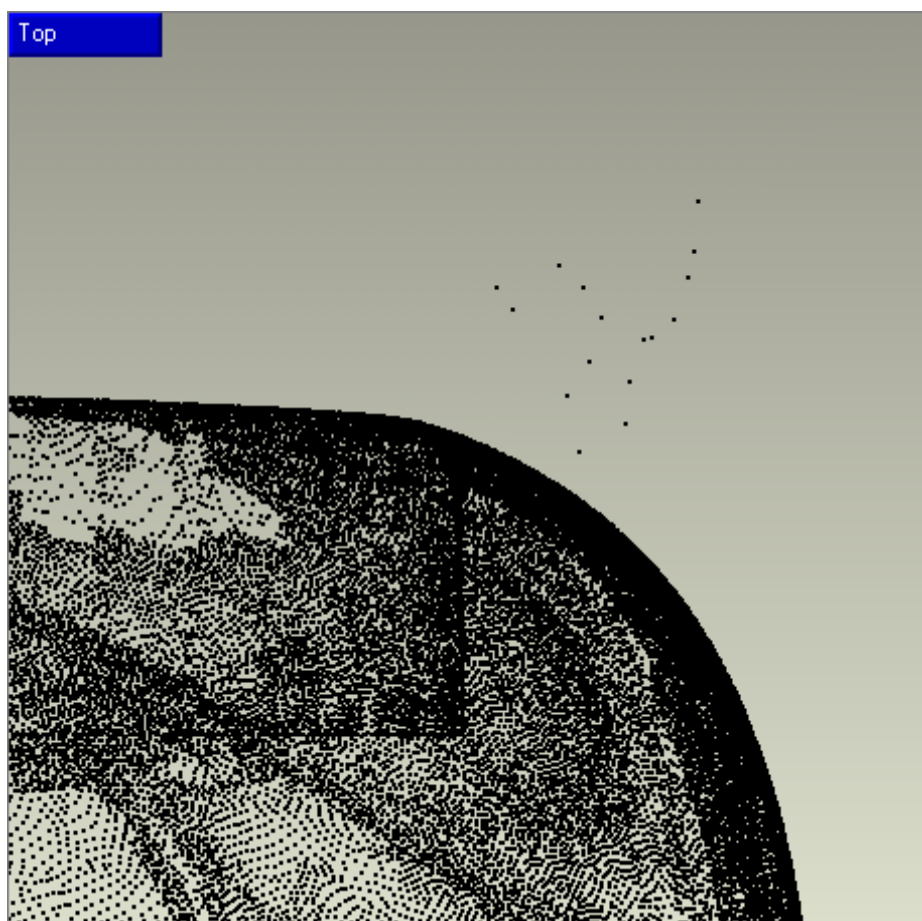
Εικόνα 4.6 Disconnects or outliers



Εικόνα 4.7 Πριν τον καθαρισμό



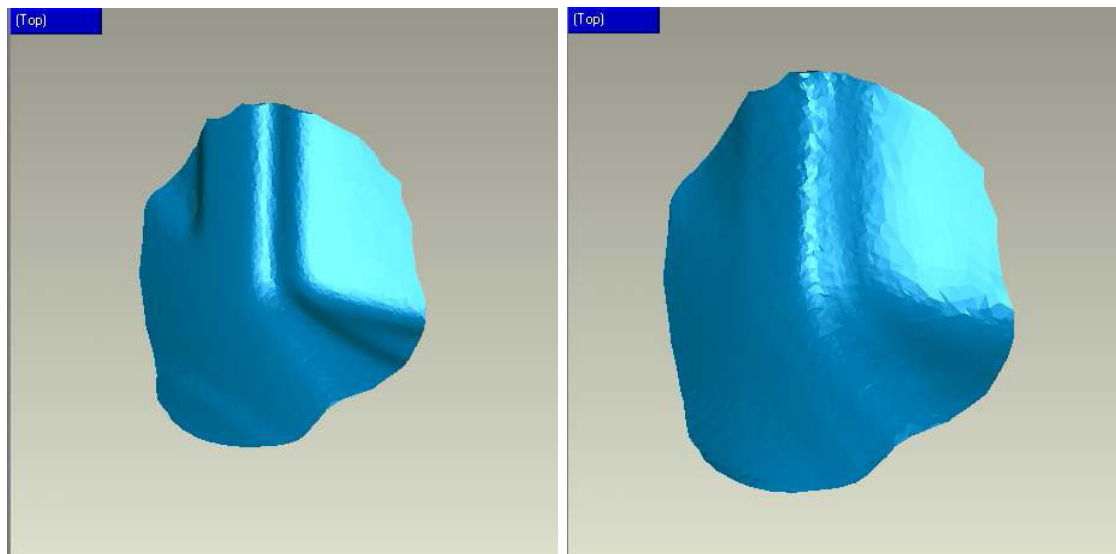
Μετά τον καθαρισμό



Εικόνα 4.8 Αυτόματος καθαρισμός με τη χρήση Disconnected points

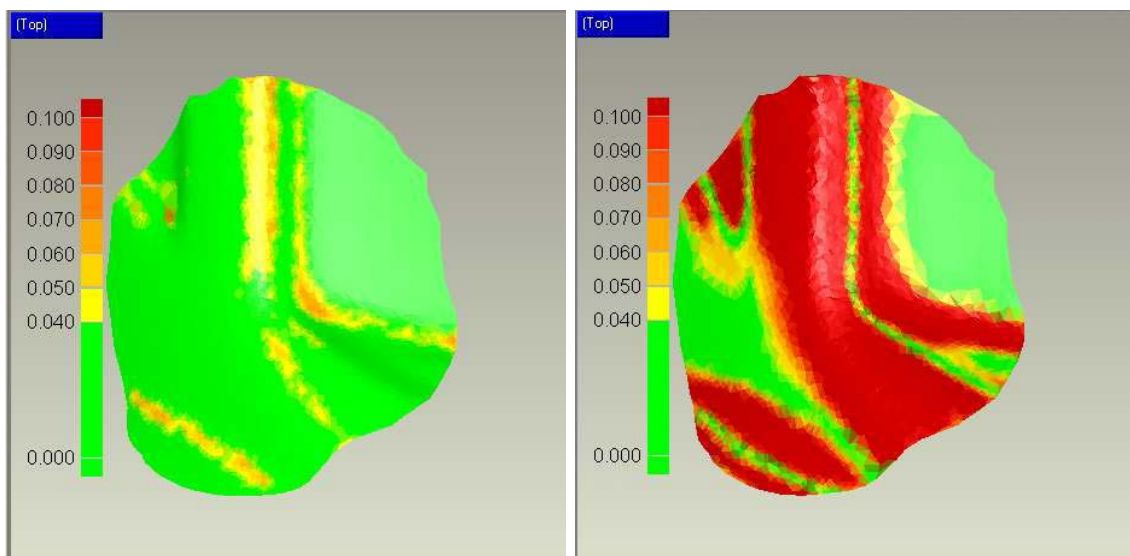
Επειδή όμως θόρυβος μπορεί να παρουσιαστεί και μέσα στο αντικείμενο με τη μορφή άγριων, μη ίσων ή μη ομαλών μορφών στην επιφάνεια του

αντικειμένου, χρησιμοποιείται η εντολή Reduce Noise. Οι εντολές αυτές ελέγχουν τη λειότητα της επιφάνειας, τα σημεία που προβάλλονται, τις αποδεκτές ανοχές. Παρακάτω παρουσιάζονται παραδείγματα.



Εικόνα 4.9 μικρή λείανση

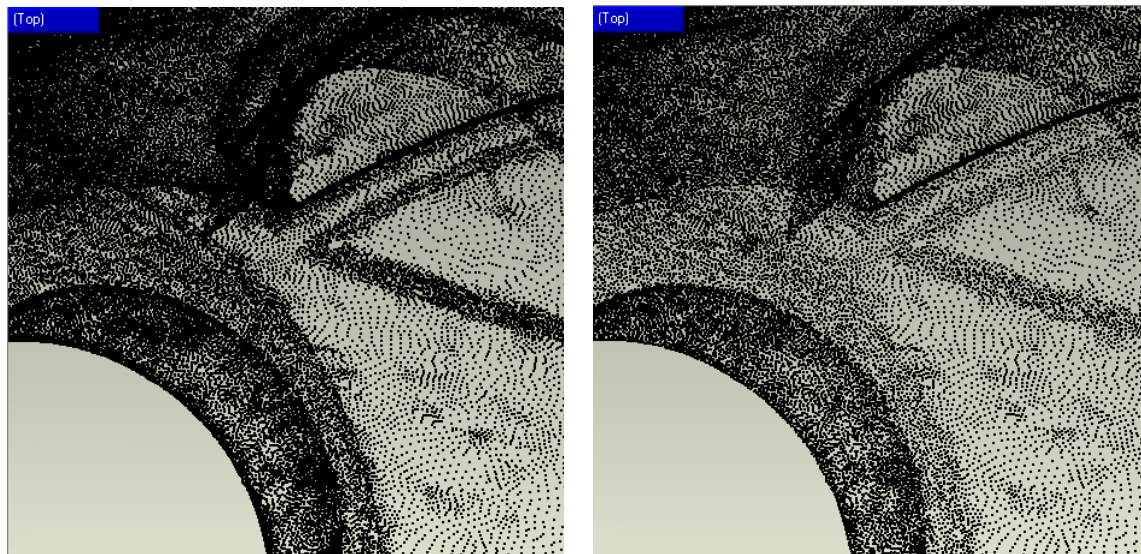
μεγάλη λείανση



Εικόνα 4.10 Διάγραμμα αποκλίσεων για μικρή – μεγάλη λείανση επιφάνειας

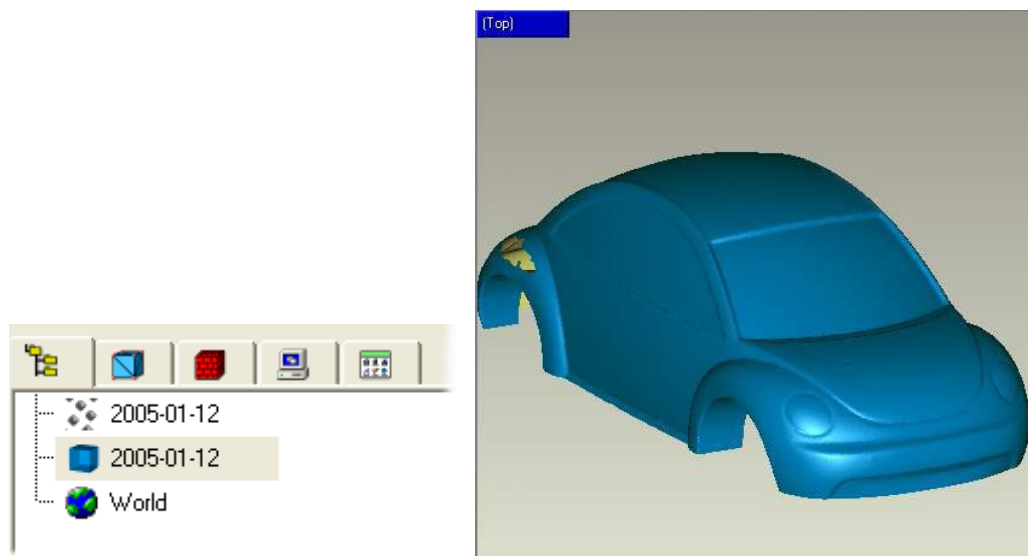
Έπειτα από τις παραπάνω διαδικασίες και εφαρμογές εντολών προχωράμε στη διαδικασία του Uniform Sample. Με αυτή την εντολή μειώνουμε τον αριθμό των σημείων του νέφους έτσι ώστε να εξακολουθούν να παρουσιάζουν ικανοποιητικά τη μορφή του αντικειμένου με τα σημεία που απομένουν. Σκοπός είναι να μειωθούν τα σημεία αλλά όχι σε υπερβολικό

βαθμό, μιας και τα σημεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν για την τριγωνοποίηση του νέφους σημείων και ζητούμενο είναι να εξακολουθεί να υπάρχει πιστότητα της μορφής του.



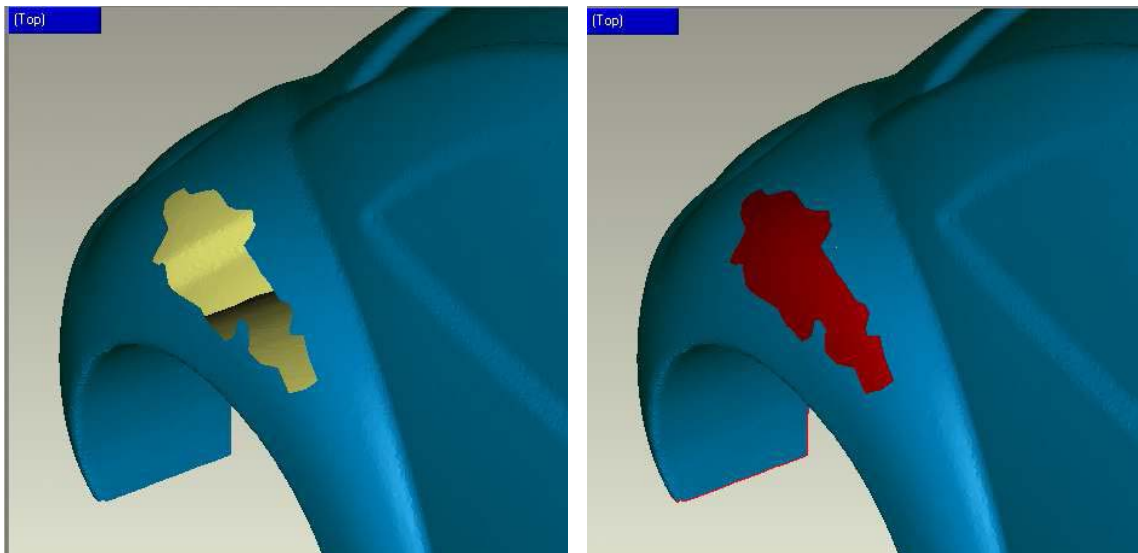
Εικόνα 4.11 Πριν και μετά την μείωση των σημείων του νέφους

b) Δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος (Wrap) : όταν το αντικείμενο έχει καθαριστεί και οργανωθεί, εφαρμόζουμε την εντολή Wrap για τη δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος.



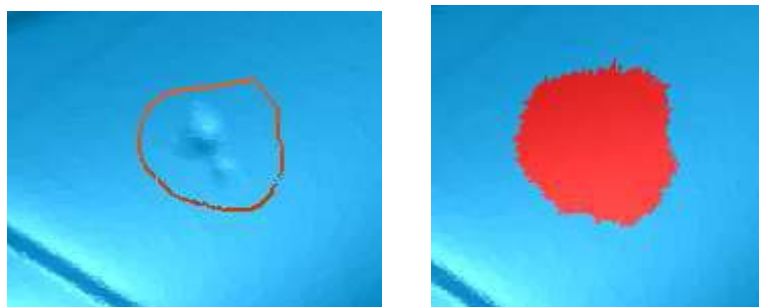
Εικόνα 4.12 Πολυγωνικό πλέγμα και συμβολισμός του στο Geomagic Studio

c) Κλείσιμο κενών και οπών (Fill holes) : με αυτή τη λειτουργία δημιουργούμε είτε καμπύλες είτε επίπεδες επιφάνειες για το κλείσιμο των οπών που μπορεί να εμφανίζονται και την εξαφάνιση των ασυνεχειών. Υπάρχουν διάφορες εντολές που μας διευκολύνουν ανάλογα με το σχήμα και την θέση της ασυνέχειας.



Εικόνα 4.13 Πριν και μετά το κλείσιμο της οπής

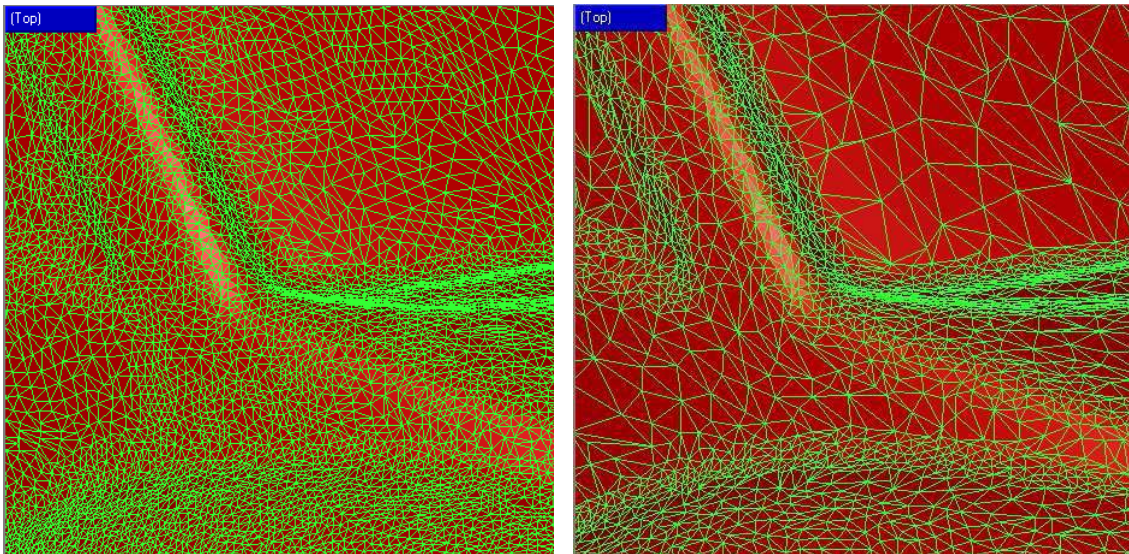
d) Λειτουργία Defeature : αποτελεί διαδικασία κατά την οποία μπορούν να διορθωθούν γρήγορα προεξοχές ή βαθουλώματα που εντοπίζονται στο αντικείμενο.



Εικόνα 4.14 Πριν και μετά τη χρήση της εντολής

e) Λειτουργία Sandpaper : διαδικασία λείανσης ή χαλάρωσης των σημείων σε τμήματα της επιφάνειας όπου εφαρμόζεται.

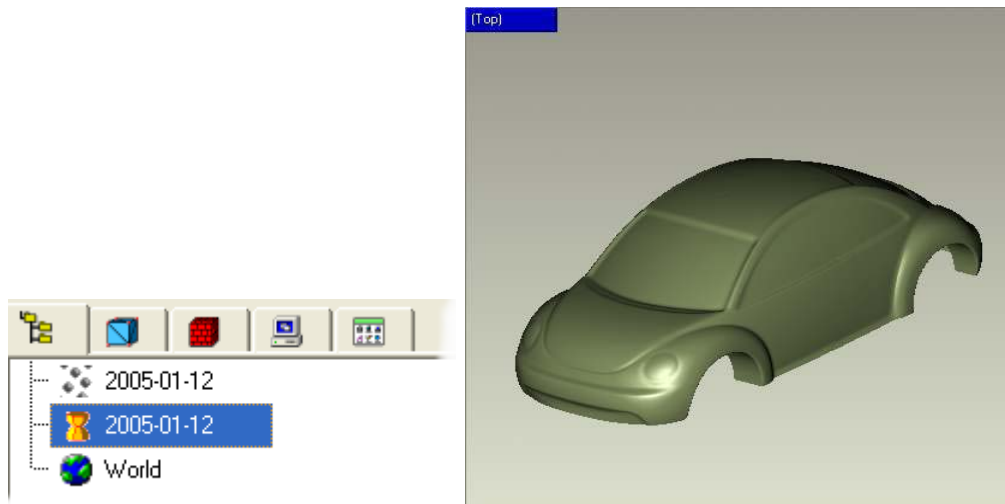
f) Μείωση τριγώνων (Decimate) : η λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται για την μείωση των τριγώνων του πολυγωνικού μοντέλου. Η εντολή αυτή μειώνει τον αριθμό των τριγώνων στις περιοχές χαμηλής καμπυλότητας ενώ διατηρεί τον αριθμό των τριγώνων στις περιοχές υψηλής καμπυλότητας.



Εικόνα 4.15 Αποτέλεσμα του Decimate

g) Λειτουργίες Manifold και Intersections : για να μπορέσει ένα μοντέλο να αναπαραχθεί σε κάποια συσκευή τρισδιάστατης εκτύπωσης, να κοπεί κάποια μηχανή CAM ή να τοποθετηθεί σε κάποιο ψηφιακό μουσείο, πρέπει να εξαχθεί κάποιο κατάλληλο αρχείο από ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Προϋπόθεση για την εξαγωγή του αρχείου είναι αυτό να είναι το αντικείμενο να αποτελεί κλειστή επιφάνεια. Με αυτές τις δυο εντολές βλέπουμε ποια σημεία του μοντέλου περιέχουν κενά και που παρεμβάλλονται μεταξύ τους τρίγωνα (πράγμα που δημιουργεί ασυνέχεια). Τα τρίγωνα αυτά τα διορθώνουμε διαγράφοντάς τα και δημιουργώντας νέα, έτσι ώστε να μην παρουσιάζουν κενά ή ασυνέχειες. Υπάρχουν ποικίλες εντολές και αυτοματοποιήσεις για τη βοήθεια του χρήστη μέσω εντολών του προγράμματος.

h) Δημιουργία επιφανειών Nurbs : όταν το πολυγωνικό μοντέλο έχει δημιουργηθεί, επεξεργαστεί και διορθωθεί από τυχόν ασυνέχειες και οπές, τότε μπορούν να εφαρμοστούν Nurbs καμπύλες σε αυτό. Έπειτα από αυτό μπορούμε να εξάγουμε αρχεία για συστήματα CAM και CAD.

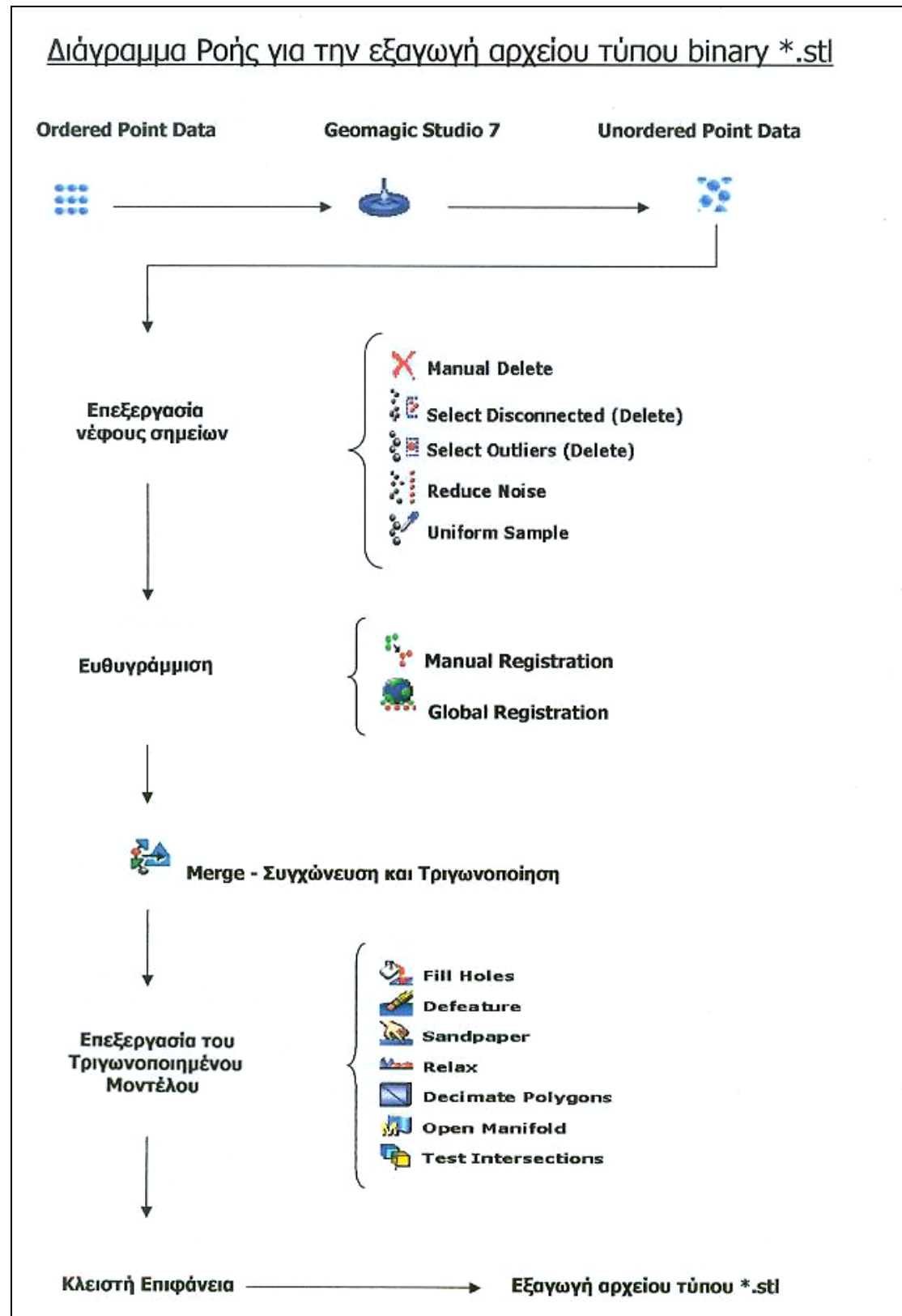


Εικόνα 4.16 Καμπύλες Nurbs και συμβολισμός στο Geomagic Studio

Το πρόγραμμα Geomagic Studio παρέχει πολλές άλλες διευκολύνσεις που δεν παραθέτουμε σκόπιμα προς το παρόν για λόγους κατανόησης του αναγνώστη. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε λειτουργίες για δημιουργία Datum Planes, Dynamic Display των αντικειμένων, Background Grid και πολλά άλλα. Θεώρησα σωστό να επικεντρωθώ σε αυτό το σημείο στην φιλοσοφία του προγράμματος με βάση το αρχικό διάγραμμα ροής, ώστε να καταλήξουμε στην εξαγωγή συγκεκριμένων τύπων αρχείων. Η διαδικασία που θα ακολουθηθεί τελικά καθώς και οι εντολές που εφαρμόζονται στην επεξεργασία του αντικειμένου μου και δεν έχουν εξηγηθεί στο παρόν κομμάτι, εξηγούνται αναλυτικά σε επόμενα κομμάτια.

5 Επεξεργασία τέμπλου με τη χρήση του Geomagic Studio 7

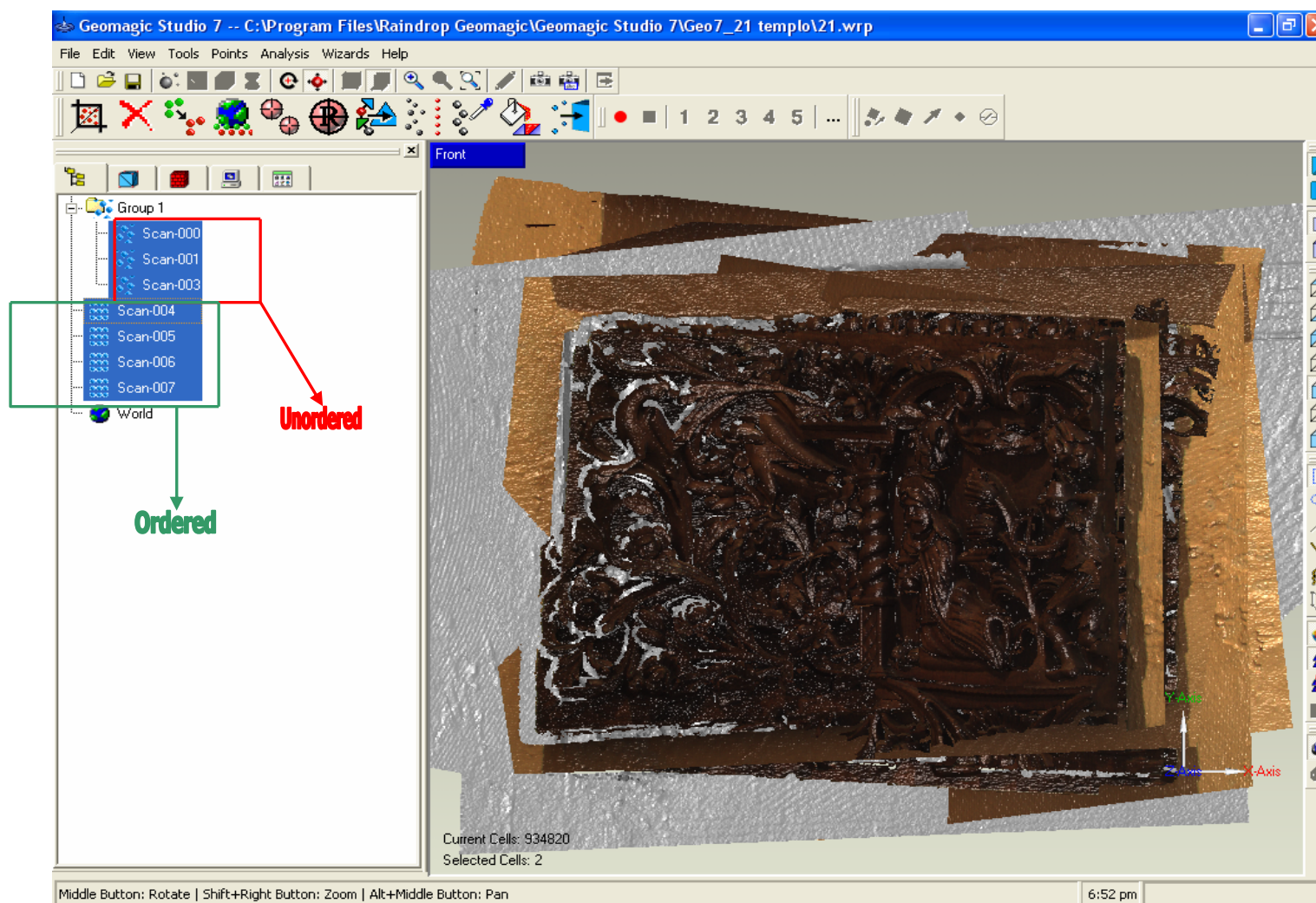
Έπειτα από όσα αναφέρθηκαν στις παραπάνω παραγράφους, συνεχίζουμε με την περιγραφή της διαδικασίας της επεξεργασίας των δεδομένων που έχουμε σε μορφή νέφους σημείων. Τα νέφη σημείων έχουν προκύψει από τη σάρωση του τέμπλου με την τρισδιάστατη κάμερα της Minolta. Παρακάτω παρουσιάζουμε το διάγραμμα ροής που θα ακολουθήσουμε για ώστε να φτάσουμε στην εξαγωγή του επιθυμητού τύπου αρχείου *.stl. Το διάγραμμα αυτό διαφέρει από αυτό που προτείνει το πρόγραμμα στα manuals, είναι όμως βέλτιστο ως προς το χρόνο επεξεργασίας και τα αποτελέσματα, με βάση πάντα το δικό μας ζητούμενο. Η επεξήγηση των βημάτων του διαγράμματος ροής θα γίνει στη συνέχεια, με ταυτόχρονη παράθεση αποτελεσμάτων από το αντικείμενο που επεξεργαζόμαστε σε αυτή την ενότητα.



a) Φάση σημείων (Point Phase)

i. Καθαρισμός θορύβου

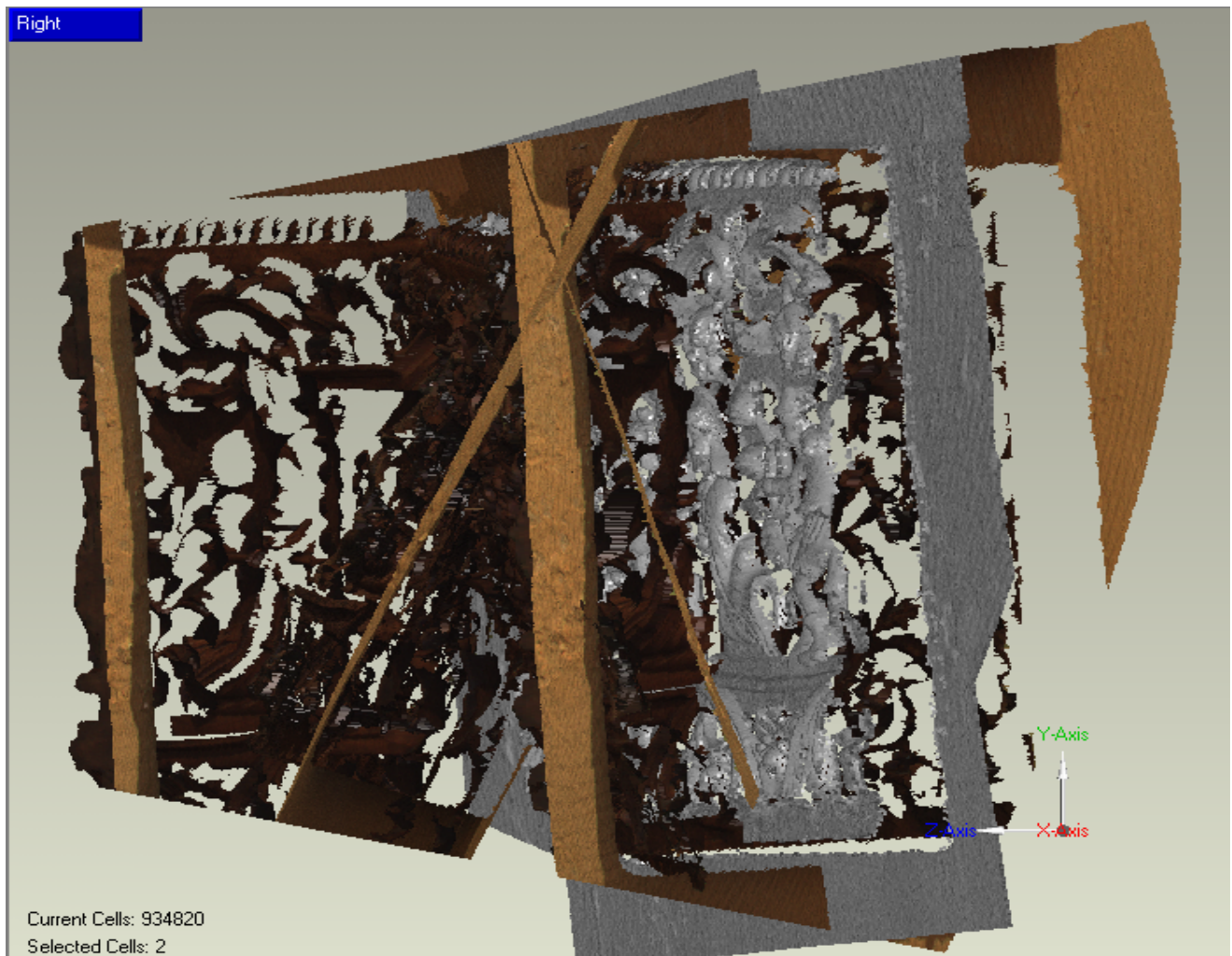
Έγιναν συνολικά επτά διαφορετικές διαδοχικές σαρώσεις του τέμπλου, από διαφορετική οπτική γωνία. Αυτό μεταφράζεται ως επτά διαφορετικά νέφη σημείων. Το αρχείο που παίρνουμε από την κάμερα είναι της μορφής *.wpr. Ανοίγουμε το αρχείο με το πρόγραμμα (File→ Open→ 21.wpr). Το πρόγραμμα μας παρουσιάζει στην viewing area όλες τις σαρώσεις. Αν προσέξουμε καλύτερα, στα αριστερά της Εικόνας 5.1, στο τμήμα του manager panel και πιο συγκεκριμένα στο παράθυρο του model manager, βλέπουμε ότι έχουμε επτά νέφη σημείων. Η προεπιλεγμένη μορφή αρχείου που παίρνουμε από την κάμερα είναι σαρώσεις σε οργανωμένα νέφη σημείων (ordered phase) τα οποία μετατρέπουμε σε μη οργανωμένα νέφη σημείων (unordered phase) για να τα επεξεργαστούμε.



Εικόνα 5.1 Οργανωμένα και μη νέφη σημείων

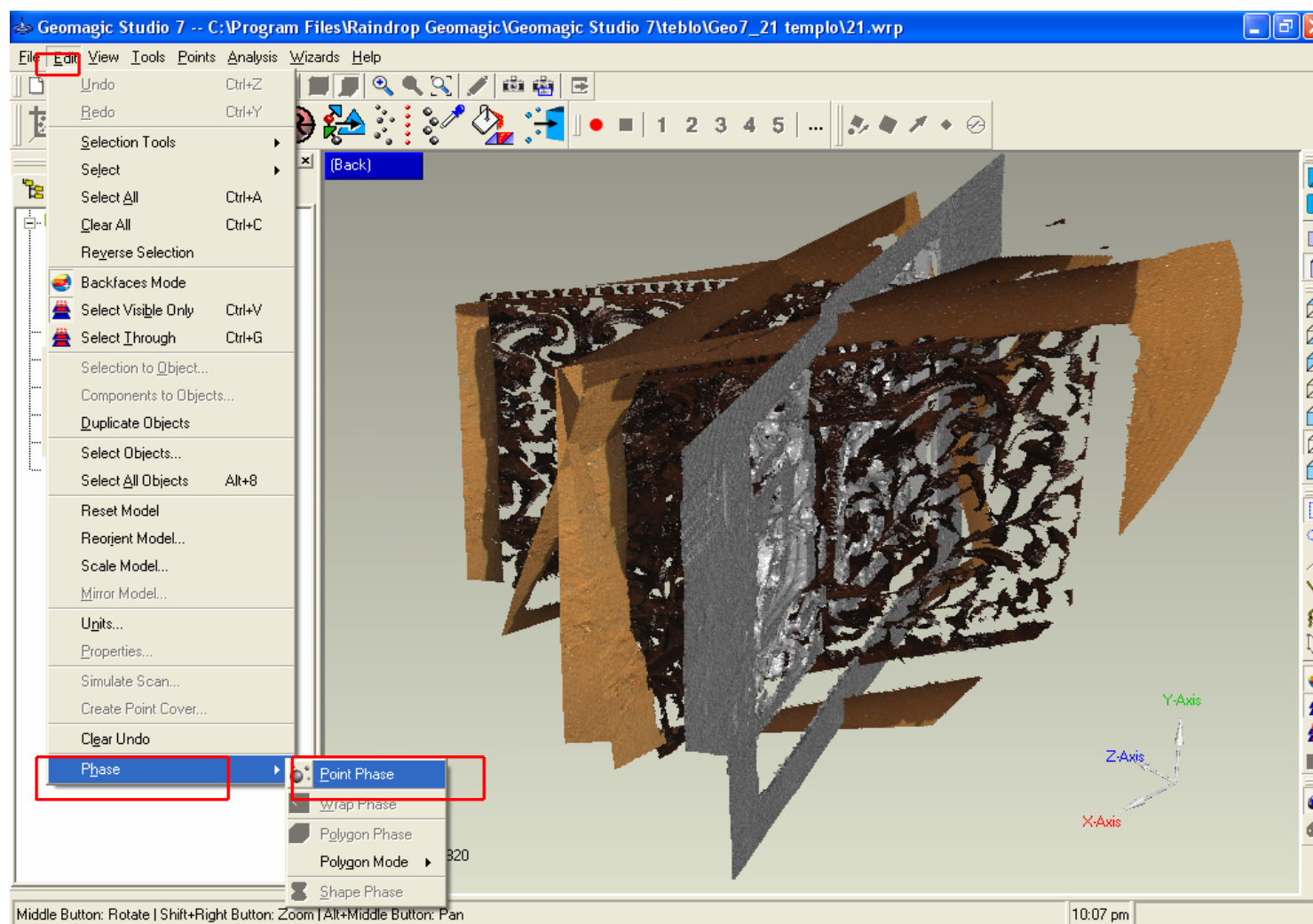


Εικόνα 5.2 Οργανωμένα και μη νέφη σημείων

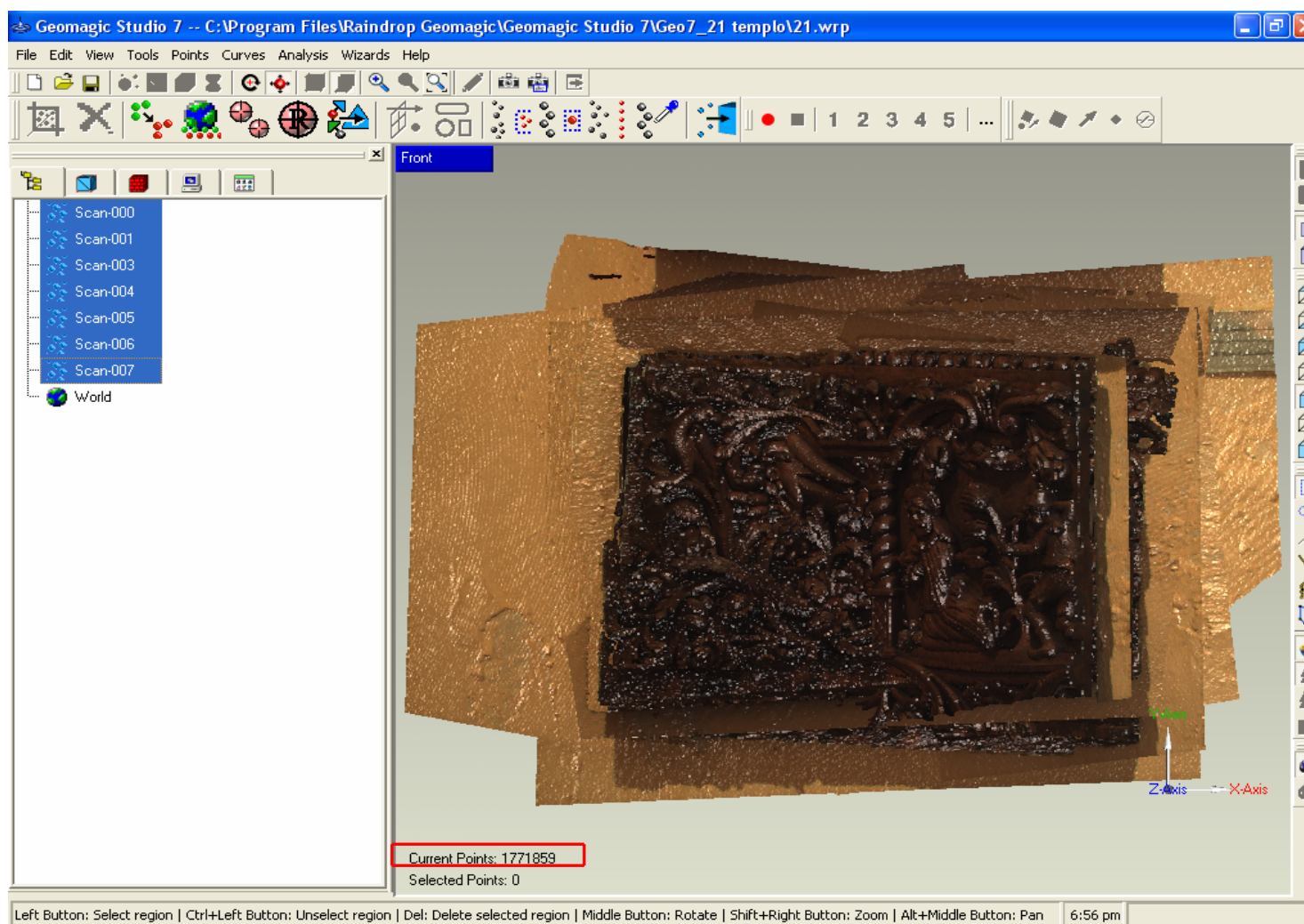


Εικόνα 5.3 Οργανωμένα και μη νέφη σημείων

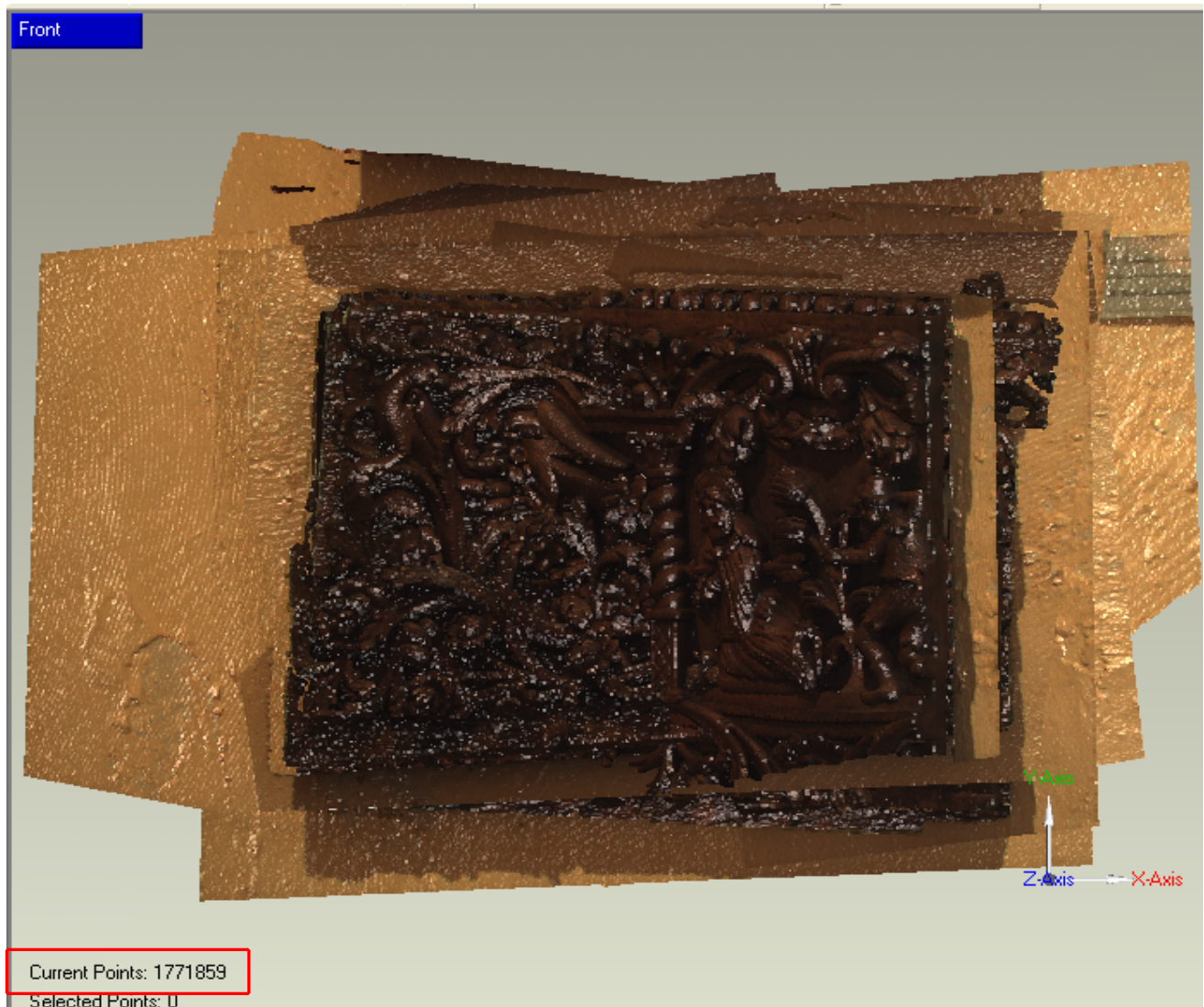
Μετατρέπουμε όλες τις σαρώσεις σε Unordered Phase (Edit→ Phase→ Point Phase) για να διαχειριστούμε τα νέφη σημείων. Τώρα έχουμε να αντιμετωπίσουμε μη ταξινομημένα νέφη σημείων. Το σύνολο των σημείων των επτά διαδοχικών σαρώσεων είναι 1.771.859, όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες.



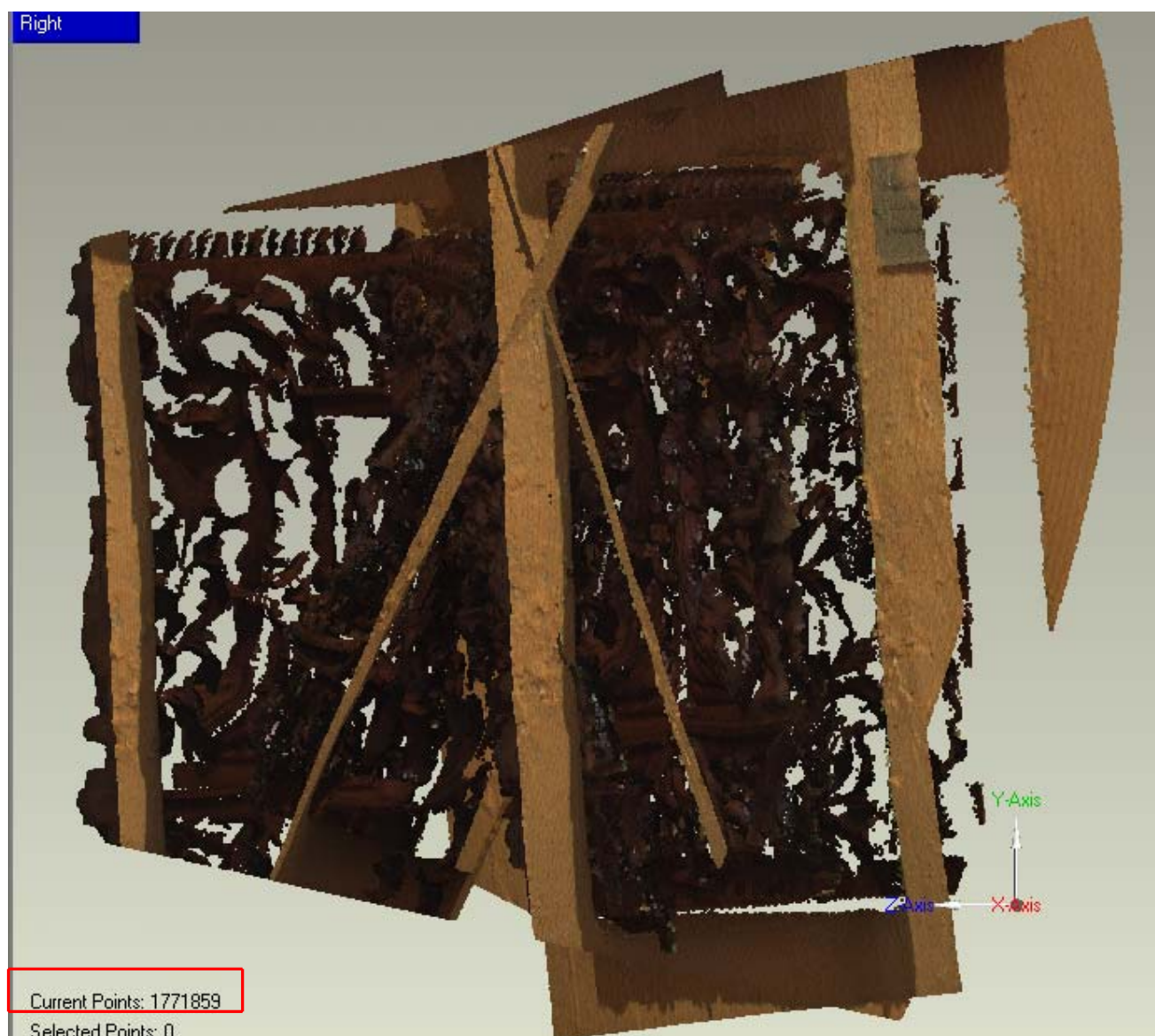
Εικόνα 5.4 Μετατροπή σημείων σε Unordered Phase



Εικόνα 5.5 Νέφη σημείων σε Unordered Phase



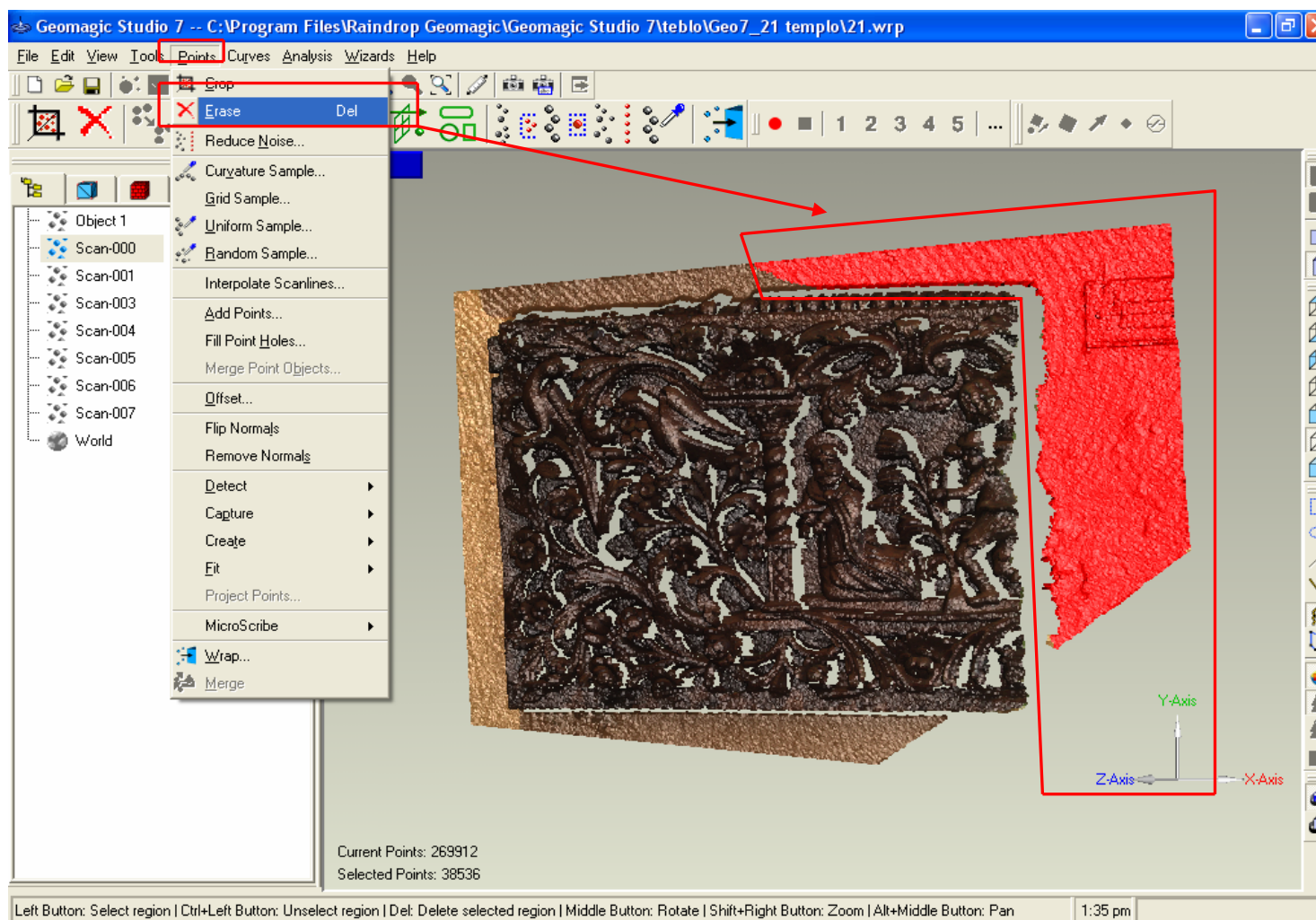
Εικόνα 5.6 Νέφη σημείων σε Unordered Phase



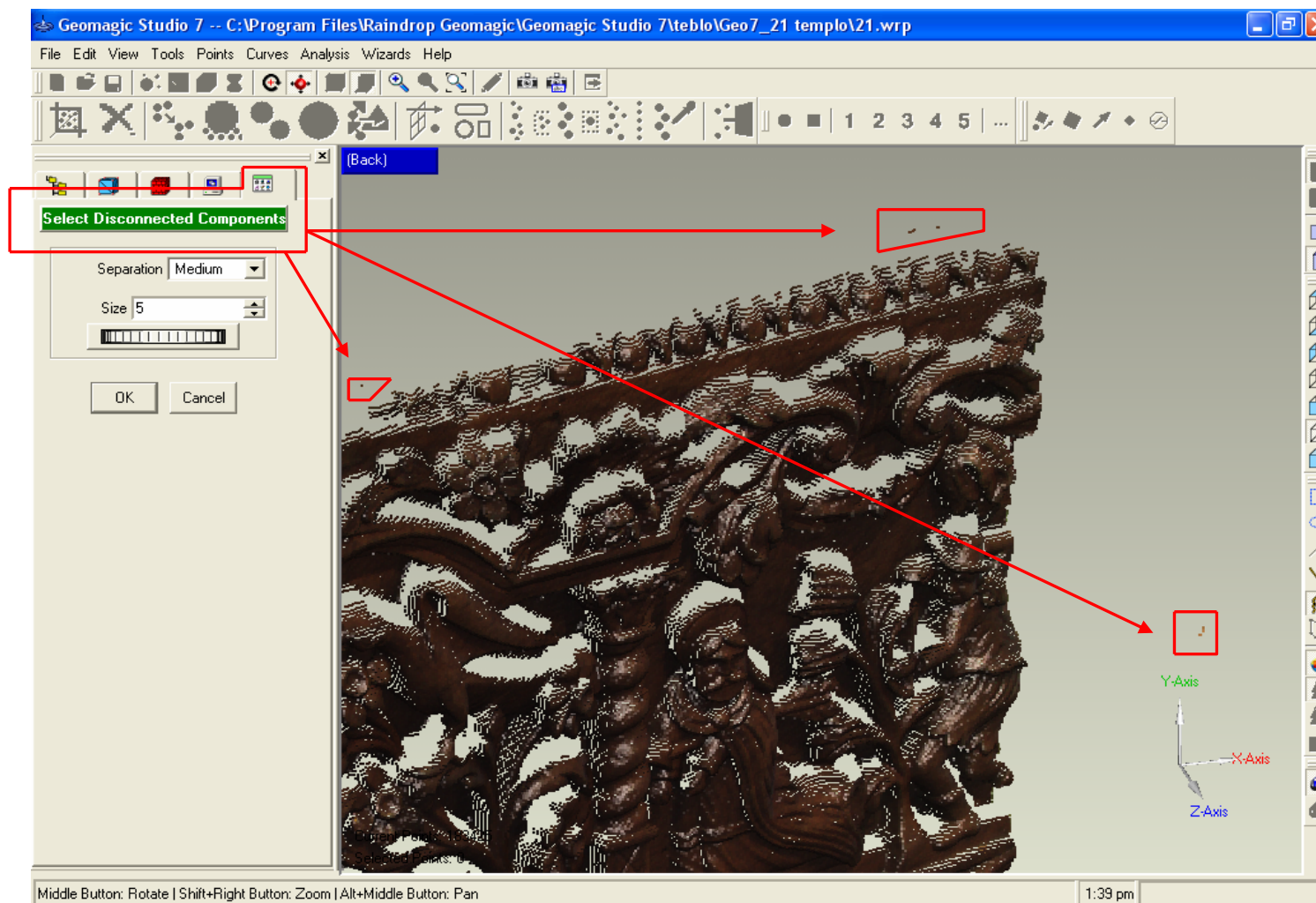
Εικόνα 5.7 Νέφη σημείων σε Unordered Phase

Παρατηρώντας τις Εικόνες 5.5 έως 5.7 όπου όλα τα δεδομένα μας βρίσκονται πλέον στην ίδια μορφή, διαπιστώνουμε ότι κατά τη σάρωση του εκκλησιαστικού τέμπλου έχουν σαρωθεί και σημεία που δεν χρειαζόμαστε (θόρυβος). Τα σημεία αυτά φαίνονται χαρακτηριστικά παραπάνω (ανοιχτό καφέ χρώμα – τμήματα της βάσης όπου στηριζόταν το τέμπλο κατά τη σάρωση). Τα σημεία αυτά θα τα αφαιρέσουμε με τη χρήση των διαθέσιμων εντολών. Επιλέγουμε μια-μια τις σαρώσεις από το manager panel και με τη χρήση manual delete (για ακριβέστερα αποτελέσματα μιας και τα πλεονάζοντα σημεία διακρίνονται με γυμνό οφθαλμό), τα διαγράφουμε. Στη συνέχεια εφαρμόζουμε και τις υπόλοιπες εντολές του προγράμματος για μείωση του

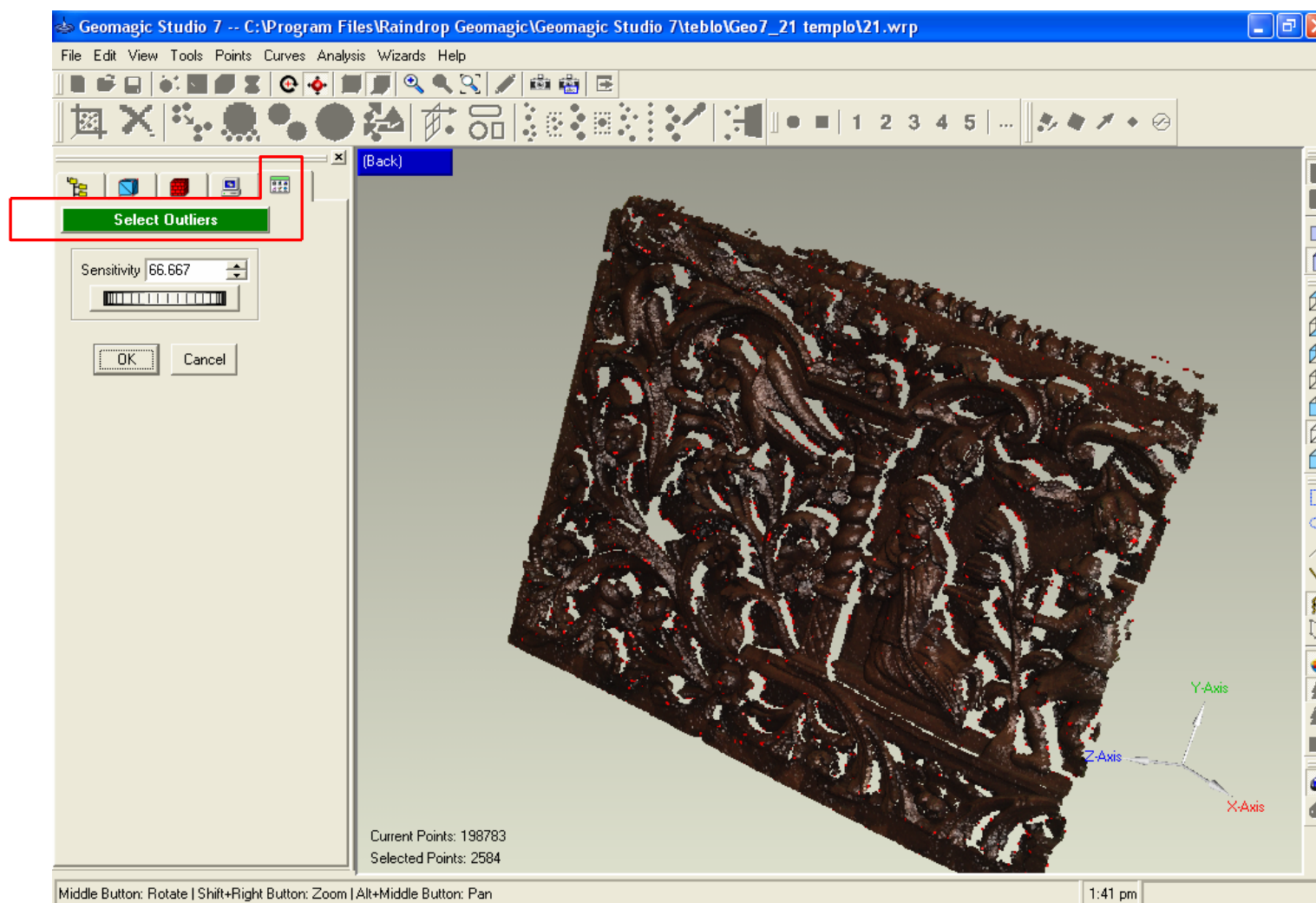
θορύβου του νέφους σημείων. Παρατηρούμε ότι μετά την διαγραφή των σημείων που σαρώθηκαν κατά λάθος και τον καθαρισμό από θόρυβο στο τέμπλο, το νέφος σημείων αριθμεί τώρα 1.226.165 σημεία (προηγούμενος αριθμός σημείων 1.771.859). Παρακάτω παρουσιάζουμε χαρακτηριστικά παραδείγματα των διαδικασιών που περιγράφουμε.



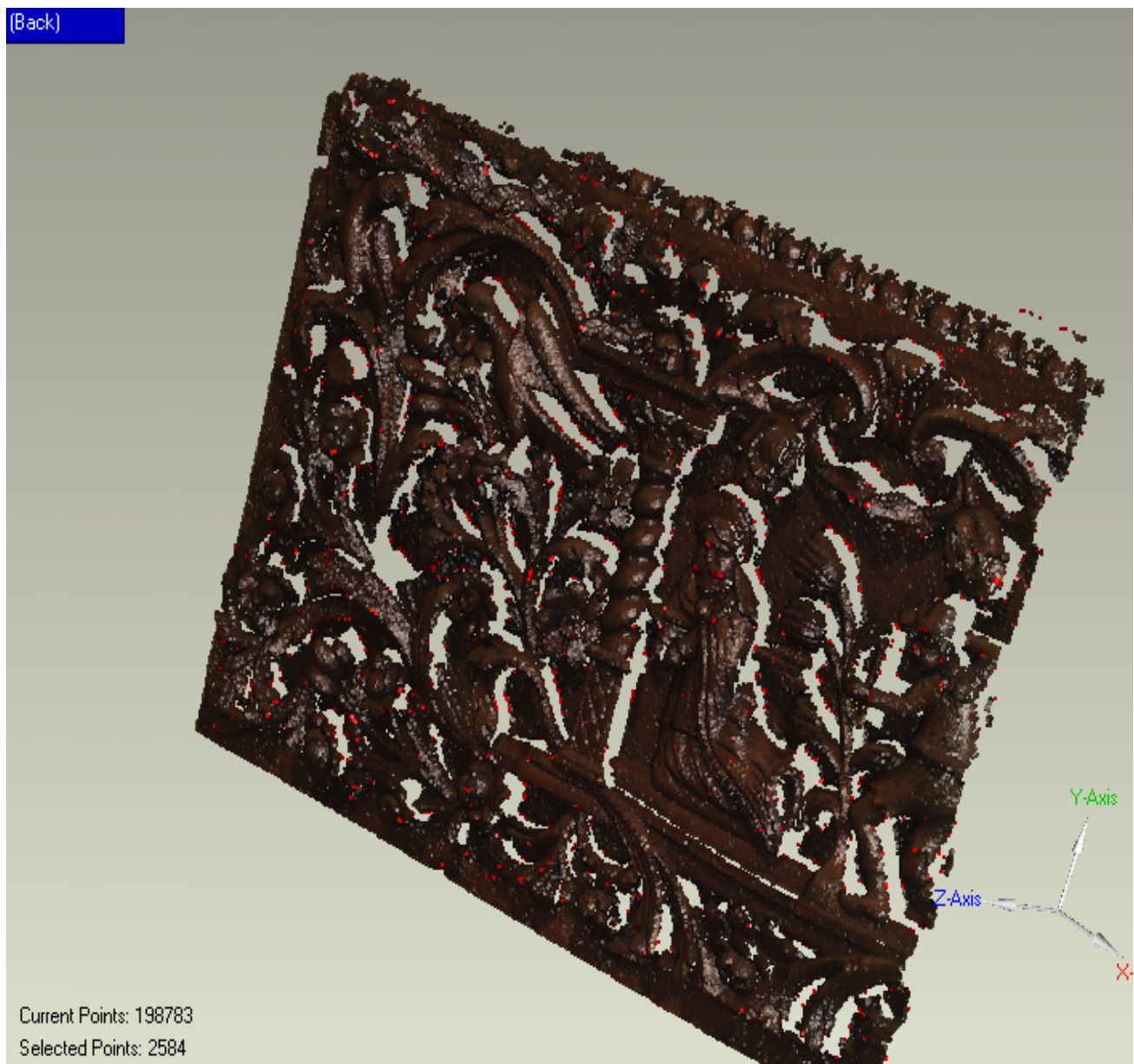
Εικόνα 5.8 Manual Delete περιττών σημείων ανά σάρωση



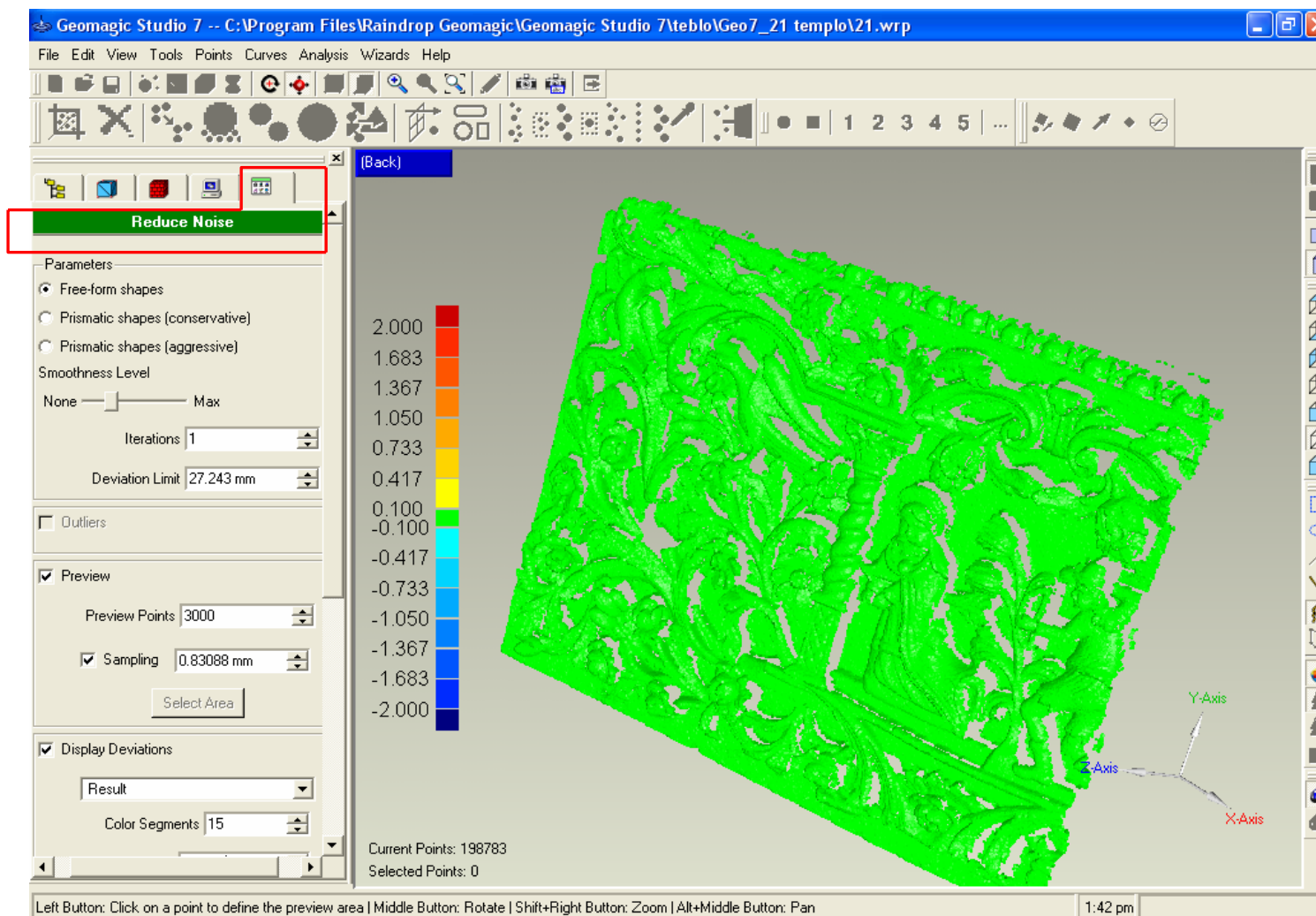
Εικόνα 5.9 Καθαρισμός από σημεία που βρίσκονται πολύ μακριά από το αντικείμενο (Select Disconnected Components)



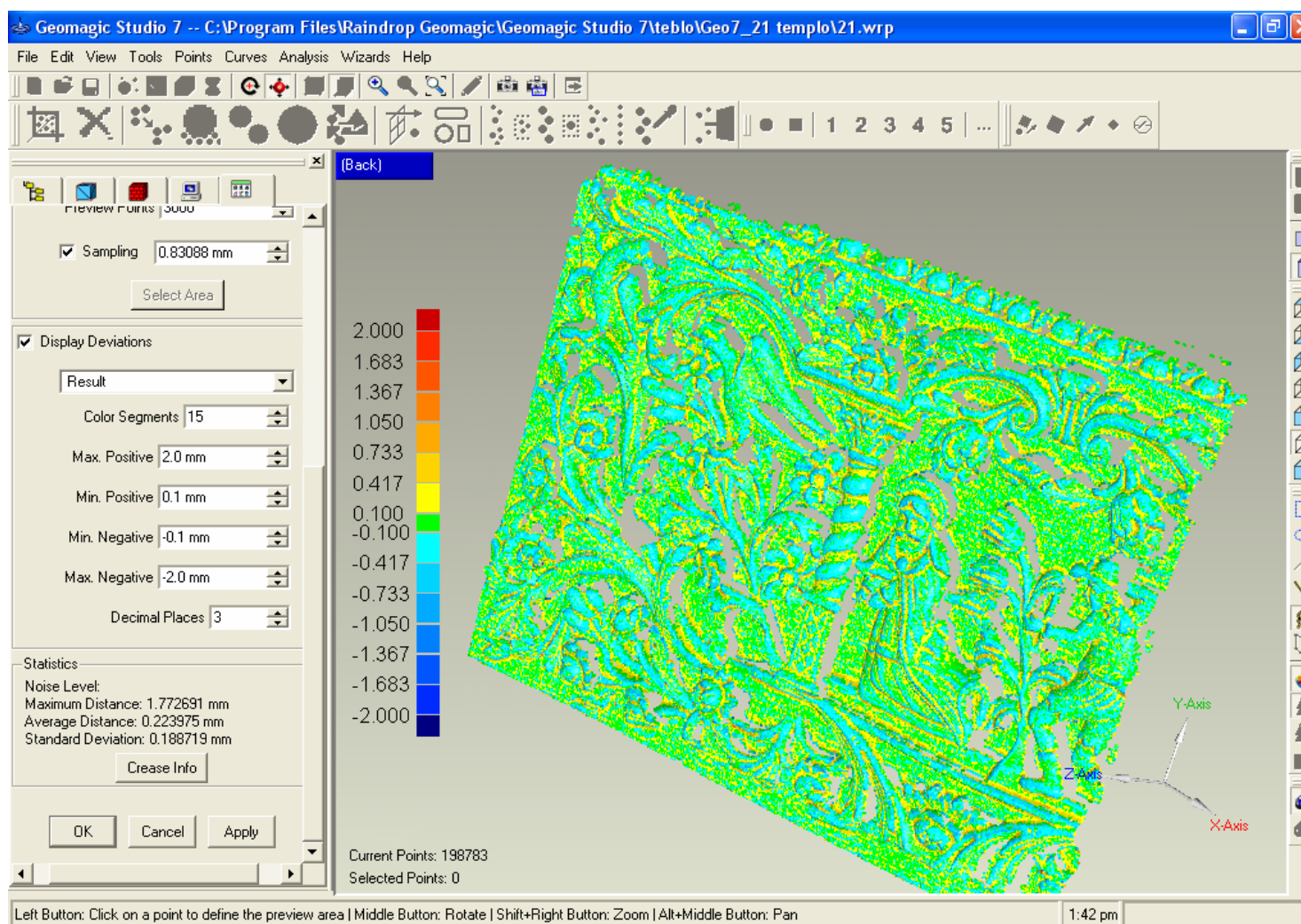
Εικόνα 5.10 Καθαρισμός από σημεία που είναι αποκομμένα από τον κυρίως όγκο της σάρωσης (Select Outliers)



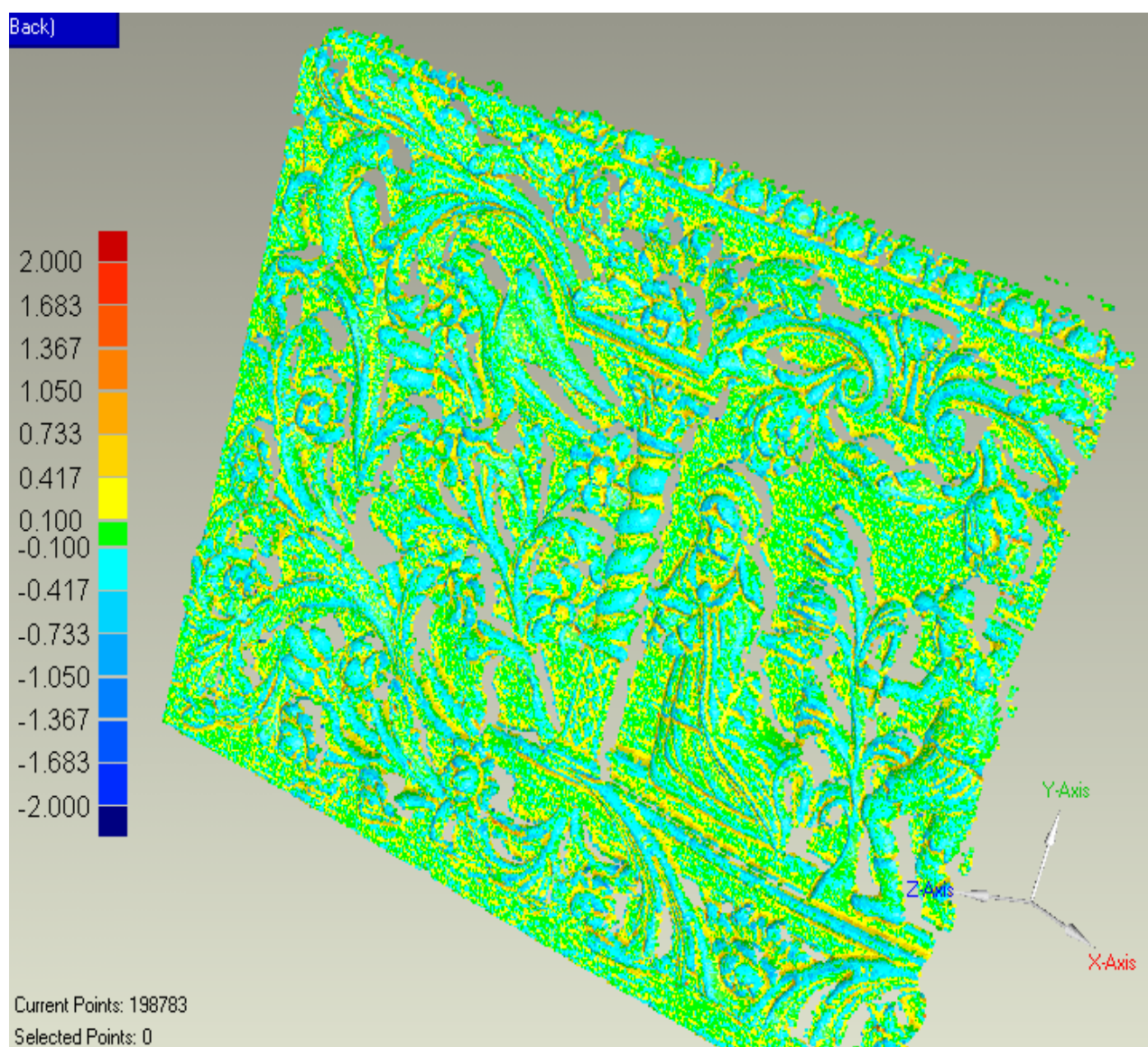
Εικόνα 5.11 Καθαρισμός από σημεία που είναι αποκομμένα από τον κυρίως όγκο της σάρωσης
(Select Outliers)



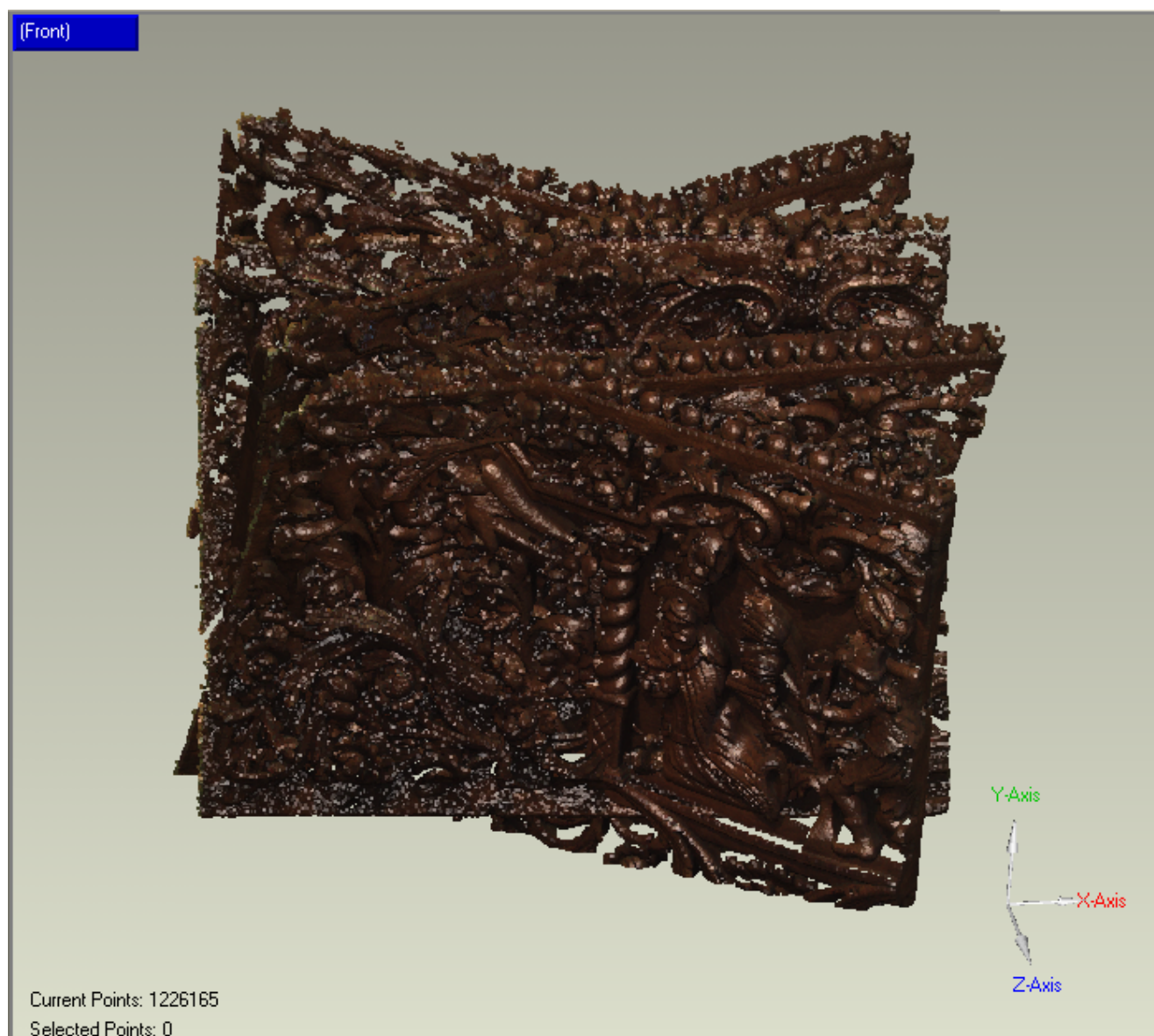
Εικόνα 5.12 Προετοιμασία μείωσης θορύβου με τις ρυθμίσεις που φαίνονται (Reduce Noise)



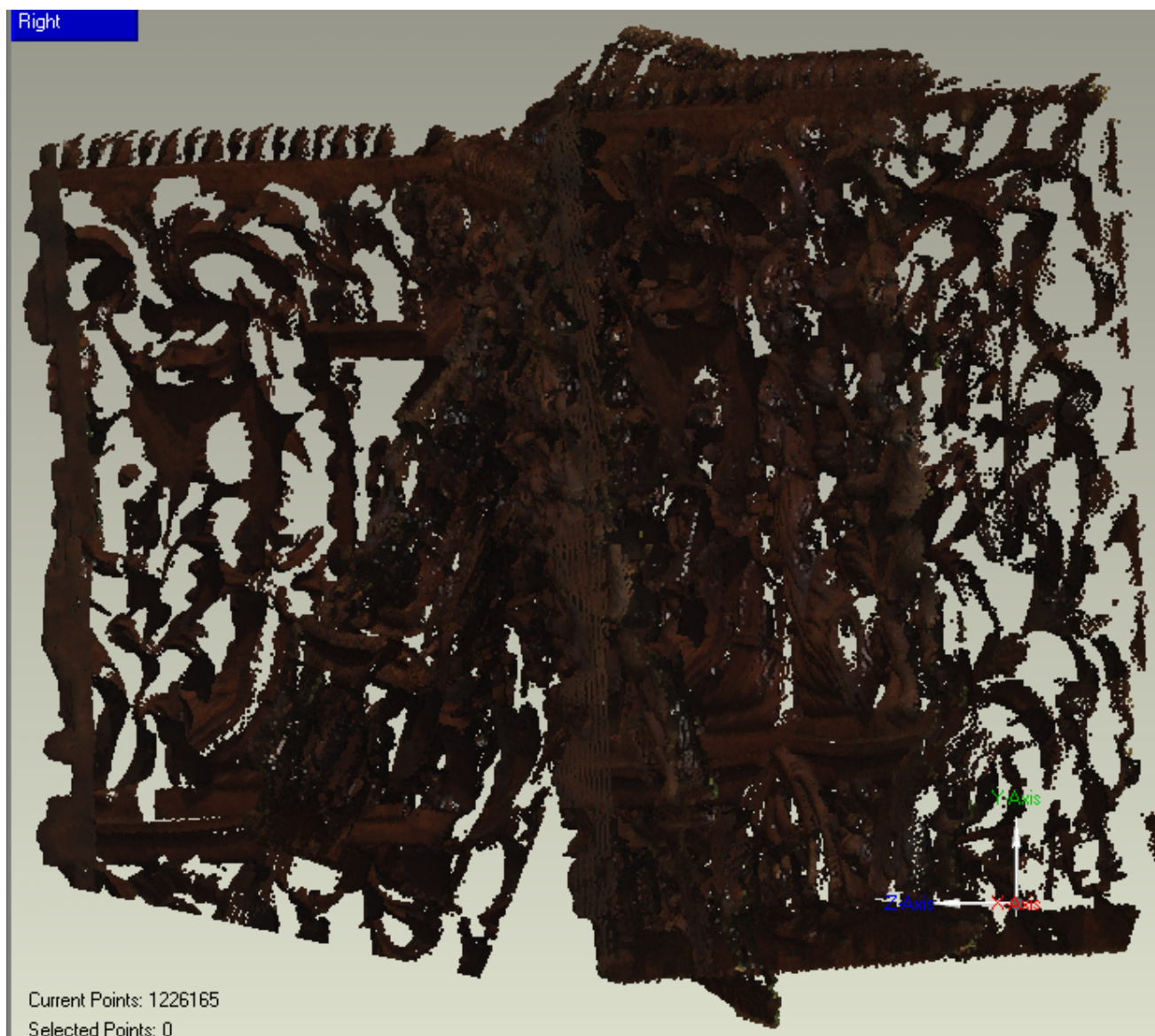
Εικόνα 5.13 Αποτελέσματα μείωσης θορύβου και τυπικές αποκλίσεις των σημείων από το αρχικό νέφος (Reduce Noise)



Εικόνα 5.14 Αποτελέσματα μείωσης θορύβου και τυπικές αποκλίσεις των σημείων από το αρχικό νέφος (Reduce Noise)



Εικόνα 5.15 Τελικό αποτέλεσμα μείωσης θορύβου και καθαρισμού των σαρώσεων



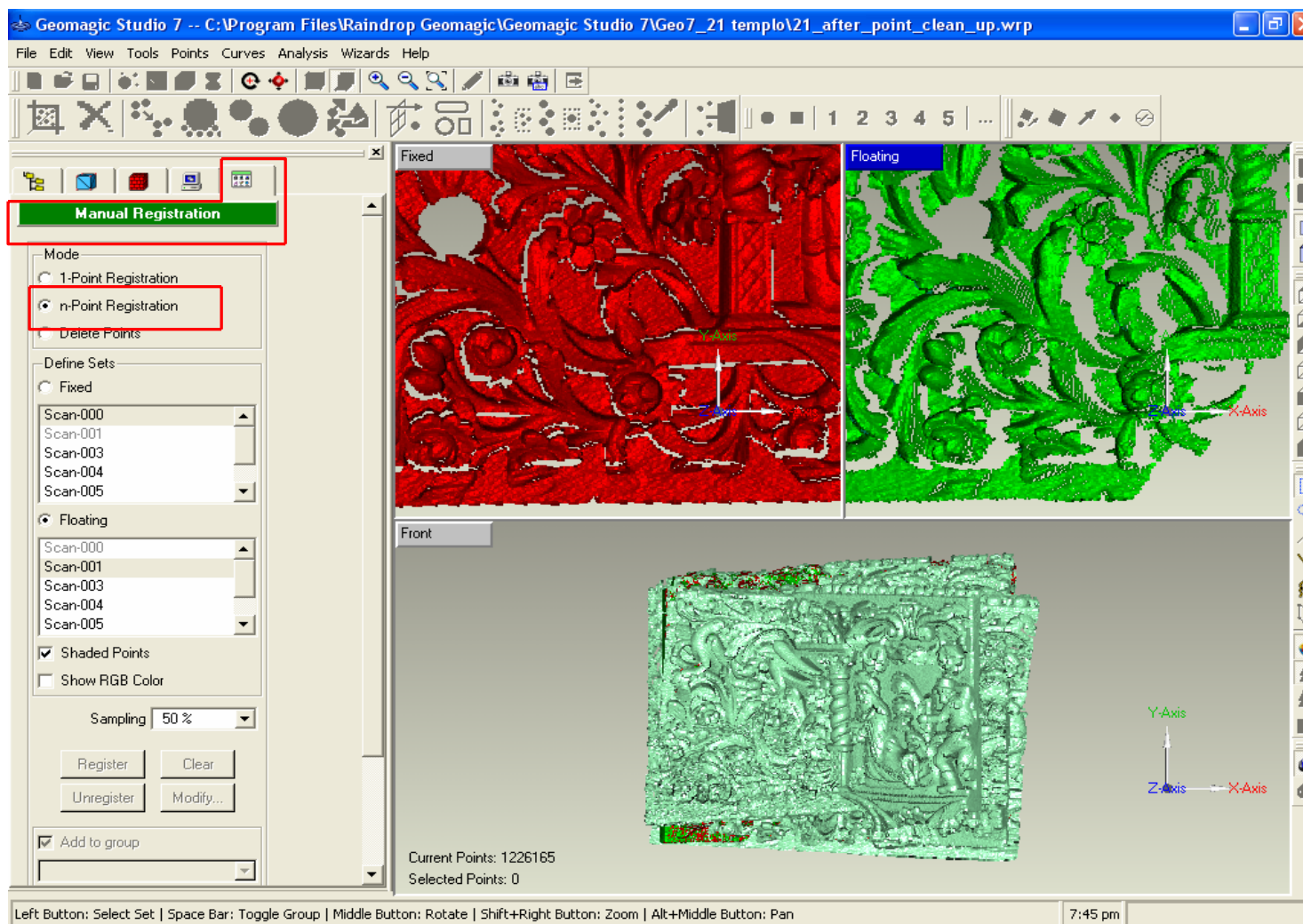
Εικόνα 5.16 Τελικό αποτέλεσμα μείωσης θορύβου και καθαρισμού των σαρώσεων

ii. Διαδικασία ευθυγράμμισης

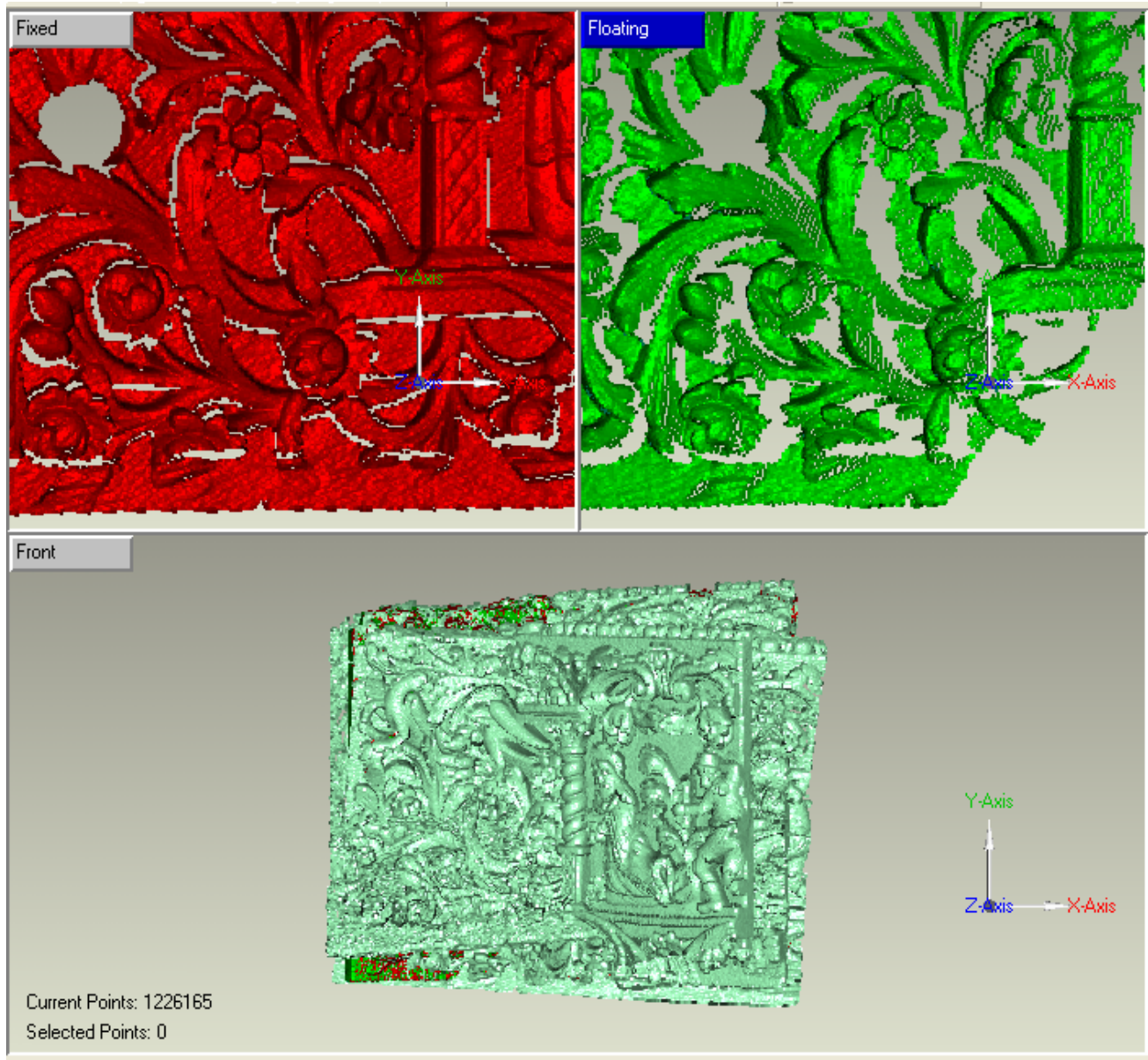
Επόμενο βήμα είναι η ευθυγράμμιση των σαρώσεων (registration). Μην ξεχνάμε ότι οι σαρώσεις γίνονται από διαφορετικές οπτικές γωνίες με αντικειμενικό σκοπό τη σάρωση όλων των επιφανειών του αντικειμένου και κυρίως των σημείων όπου παρουσιάζουν δύσκολή γεωμετρία και πολλές καμπύλες επιφάνειες. Χρησιμοποιούμε την εντολή manual registration από τα toolbars ή από το menu bar (Tools→ Registration→ Manual Registration). Στην εντολή αυτή έχουμε την επιλογή ευθυγράμμισης με την επιλογή ενός σημείου σε κάθε επιφάνεια σάρωσης ή με την επιλογή πολλαπλών σημείων στις επιφάνειες αυτές. Στην viewing area εμφανίζονται τρία παράθυρα. Τα δύο

πρώτα στο πάνω μέρος της οθόνης δείχνουν τις δύο σαρώσεις που θέλουμε να ευθυγραμμίσουμε και στο κάτω παράθυρο, τα συνολικά αποτελέσματα της ευθυγράμμισης. Για ευθυγράμμιση με επιλογή ενός σημείου, διαλέγουμε στο παράθυρο που προβάλλει την πρώτη σάρωση (Fixed) ένα σημείο και στο παράθυρο που προβάλλει την δεύτερη σάρωση (Floating), ένα σημείο αντίστοιχο - αν όχι ίδιο - του πρώτου. Απαραίτητη προϋπόθεση οι δύο σαρώσεις να βρίσκονται τοποθετημένες κατά με τον ίδιο προσανατολισμό, ώστε οι αποκλίσεις από την ευθυγράμμιση να είναι ελάχιστες.

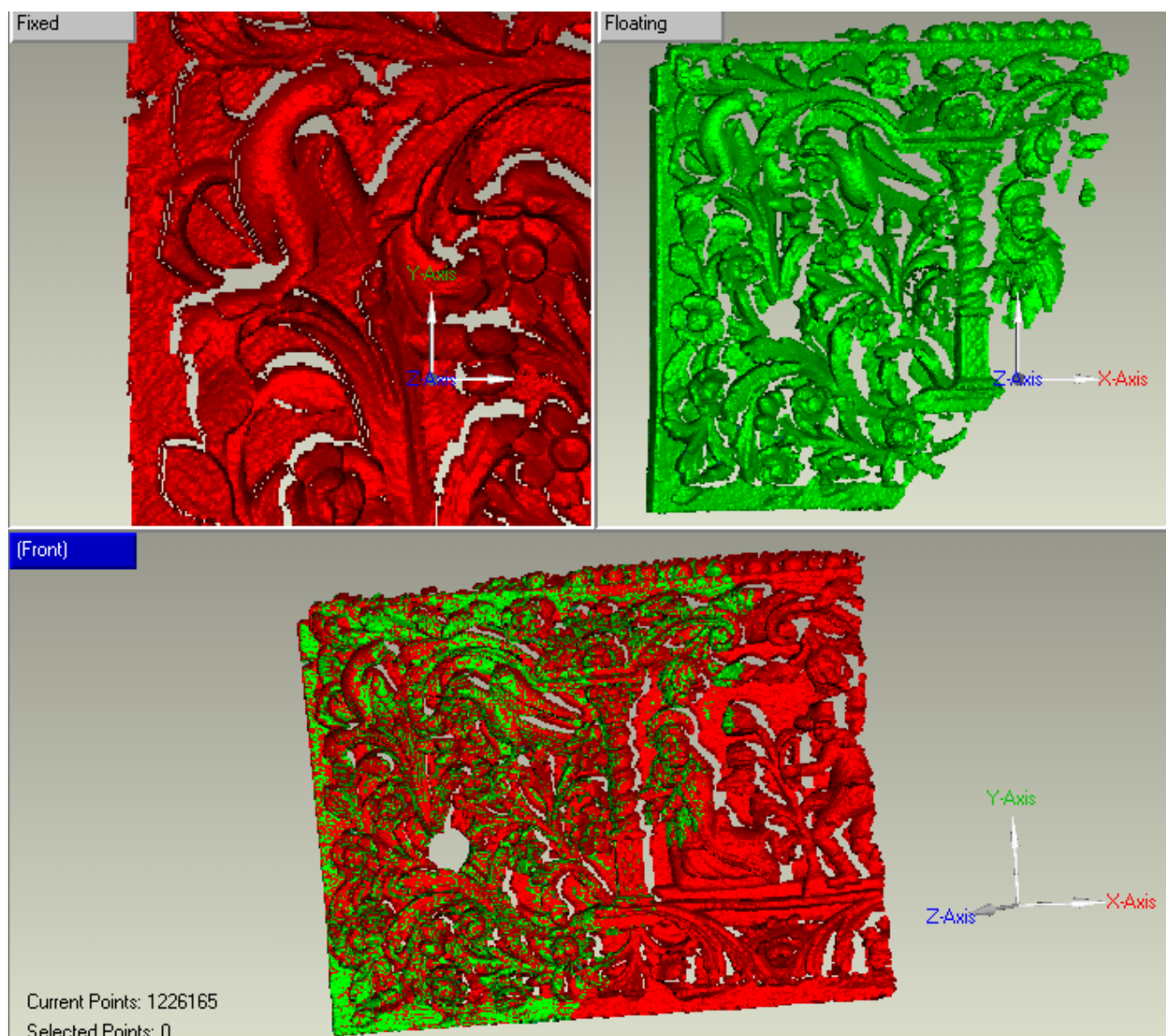
Στην περίπτωση της ευθυγράμμισης με χρήση πολλαπλών σημείων δουλεύουμε με αντίστοιχο τρόπο μόνο που διαλέγουμε περισσότερα από τρία σημεία σε κάθε σάρωση. Σε αυτή την περίπτωση δεν αποτελεί πρόβλημα αν οι σαρώσεις που θέλουμε να ευθυγραμμίσουμε έχουν τον ίδιο προσανατολισμό ή όχι. Αυτή η μέθοδος απαιτεί περισσότερους manual χειρισμούς. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ευθυγράμμισης όλων των σαρώσεων. Έχει χρησιμοποιηθεί η μέθοδος n-point registration (πολλαπλών σημείων). Επιπλέον παράμετροι είναι το sampling όπου ορίστηκε στο 50% (ρυθμίζει τον αριθμό των σημείων που θα προβάλλονται στην οθόνη ώστε να βελτιστοποιηθεί η ταχύτητα επεξεργασίας του προγράμματος) και η επιλογή shaded points (η οπτική απεικόνιση του αντικειμένου θεωρώ ότι είναι καλύτερη με αυτές τις ρυθμίσεις. Αυτές φυσικά αλλάζουν πολύ εύκολα και κάθε χρήστης μπορεί να προτιμήσει οποιαδήποτε άλλη ρύθμιση οπτικής απεικόνισης που θεωρεί καλύτερη). Η γενική ιδέα ευθυγράμμισης είναι: ευθυγράμμιση μιας σάρωσης με κάποια άλλη, μετά ευθυγράμμιση των δύο αυτών σαρώσεων με μια τρίτη κ.ο.κ. Φυσικά αυτό δεν αποτελεί κανόνα.



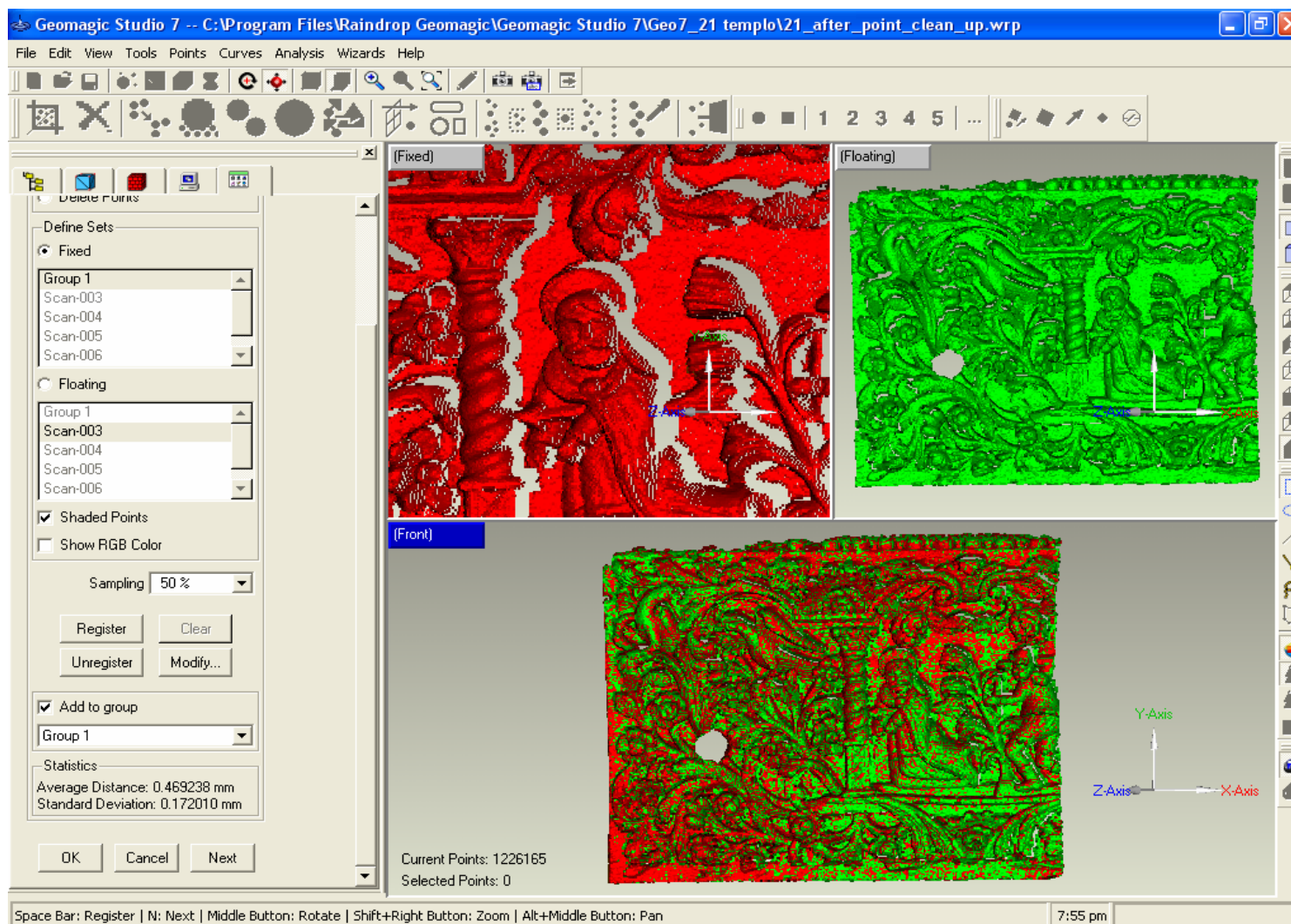
Εικόνα 5.17 Ευθυγράμμιση σαρώσεων



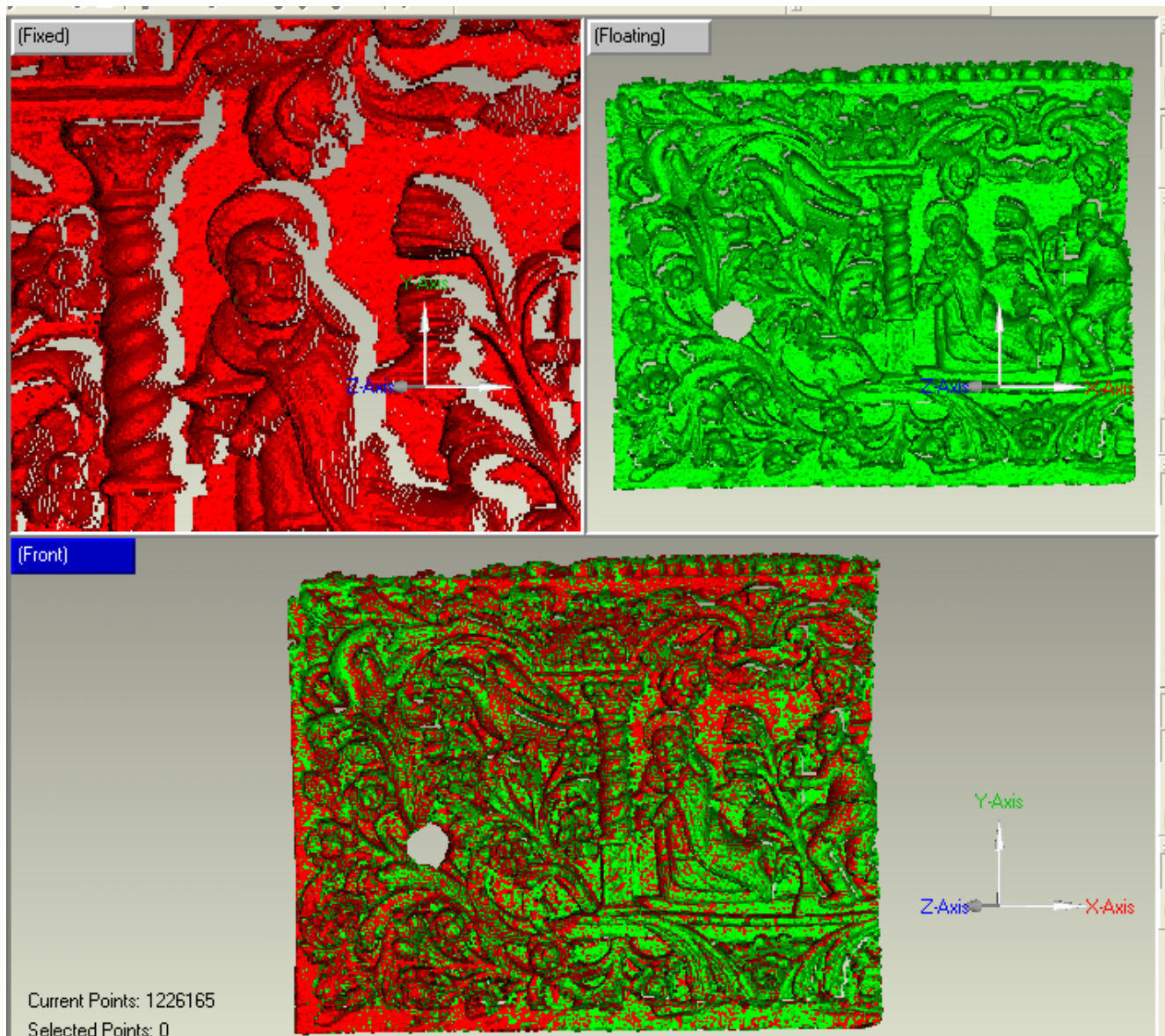
Εικόνα 5.18 Ευθυγράμμιση σαρώσεων



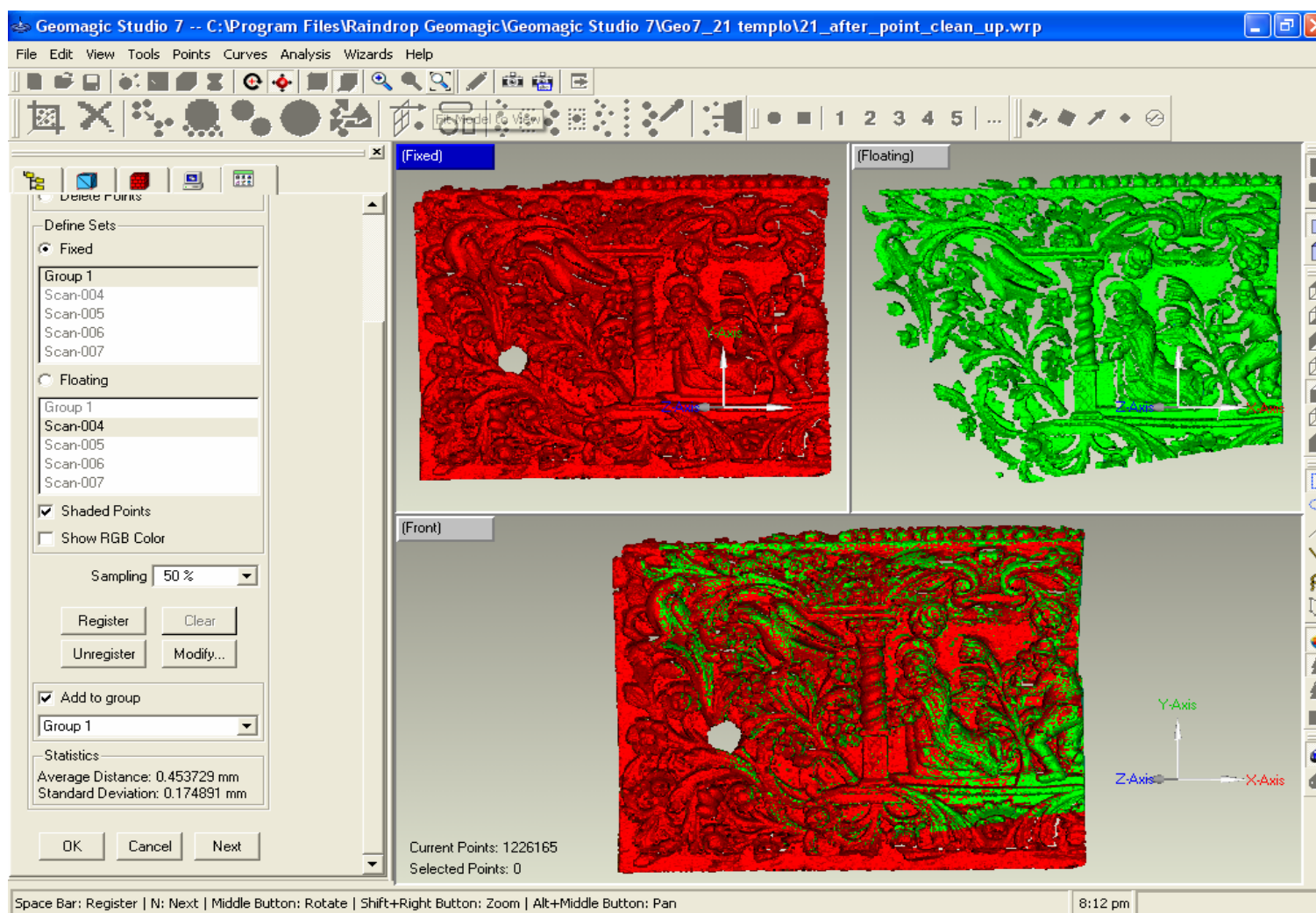
Εικόνα 5.19 Ευθυγράμμιση της πρώτης (scan 000) με τη δεύτερη σάρωση (scan 001)



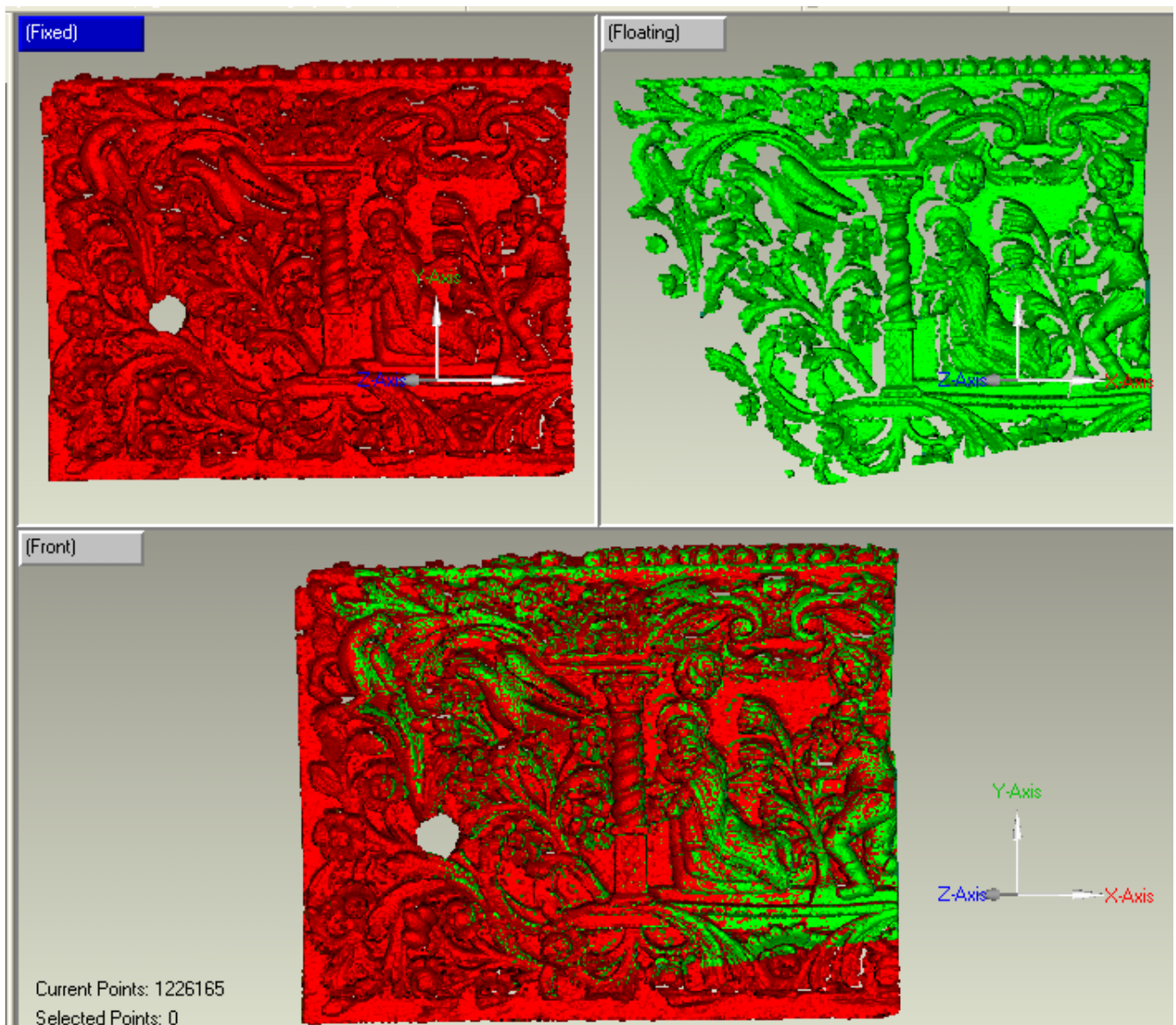
Εικόνα 5.20 Ευθυγράμμιση των δύο πρώτων (Group 1) με την τρίτη σάρωση (scan 003)



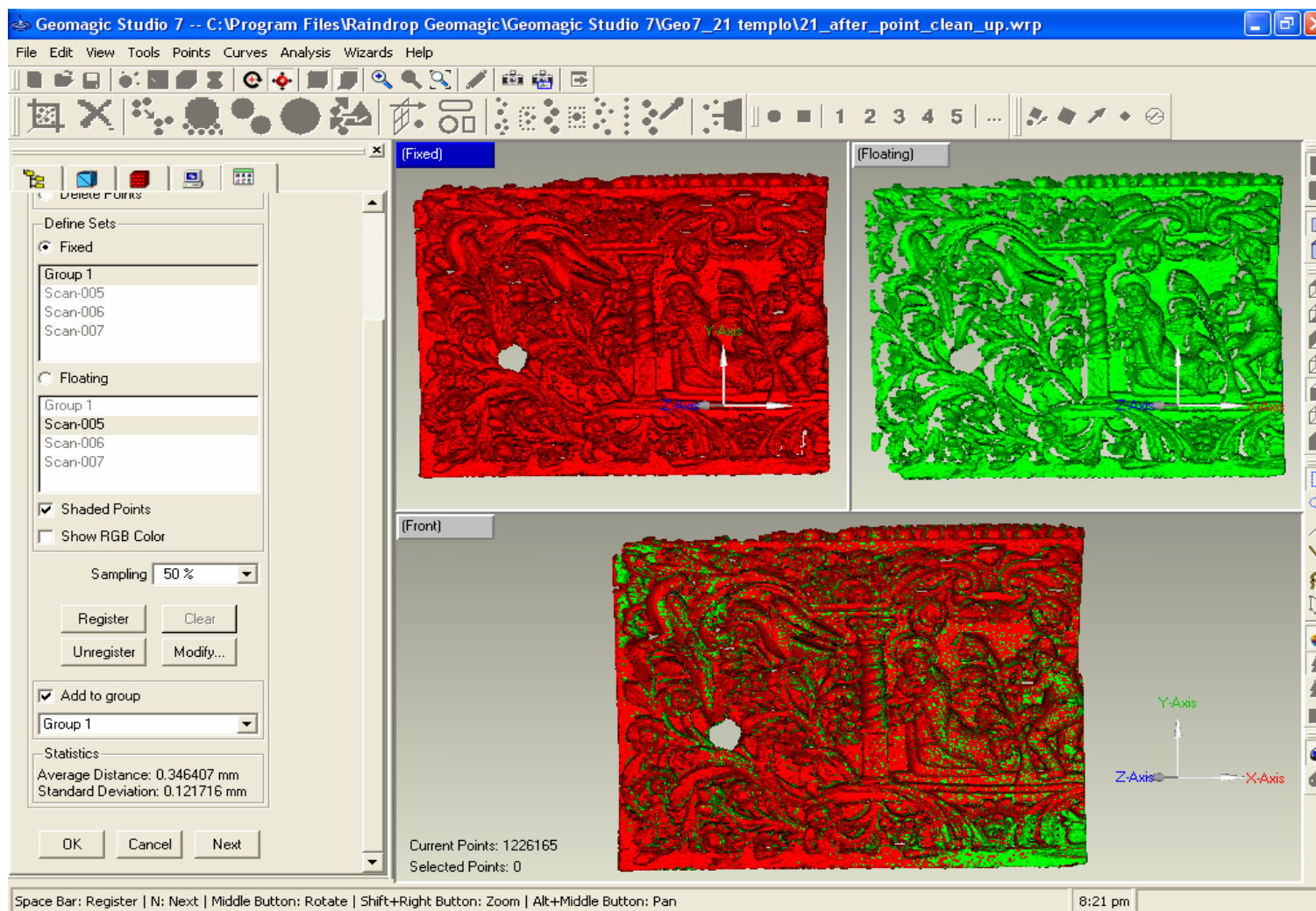
Εικόνα 5.21 Ευθυγράμμιση των δύο πρώτων (Group 1) με την τρίτη σάρωση (scan 003)



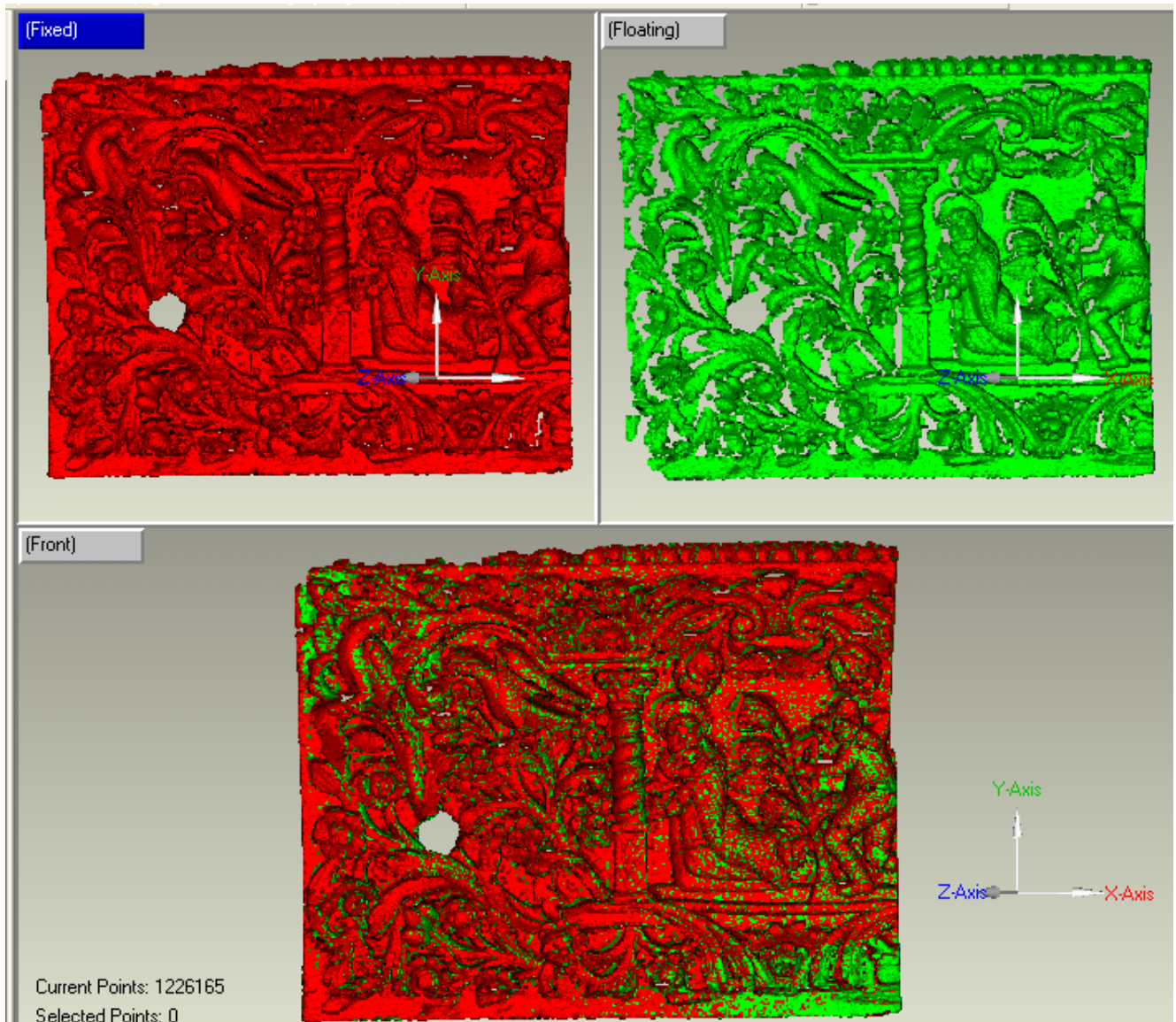
Εικόνα 5.22 Ευθυγράμμιση των πρώτων (Group 1) με την τέταρτη σάρωση (scan 004)



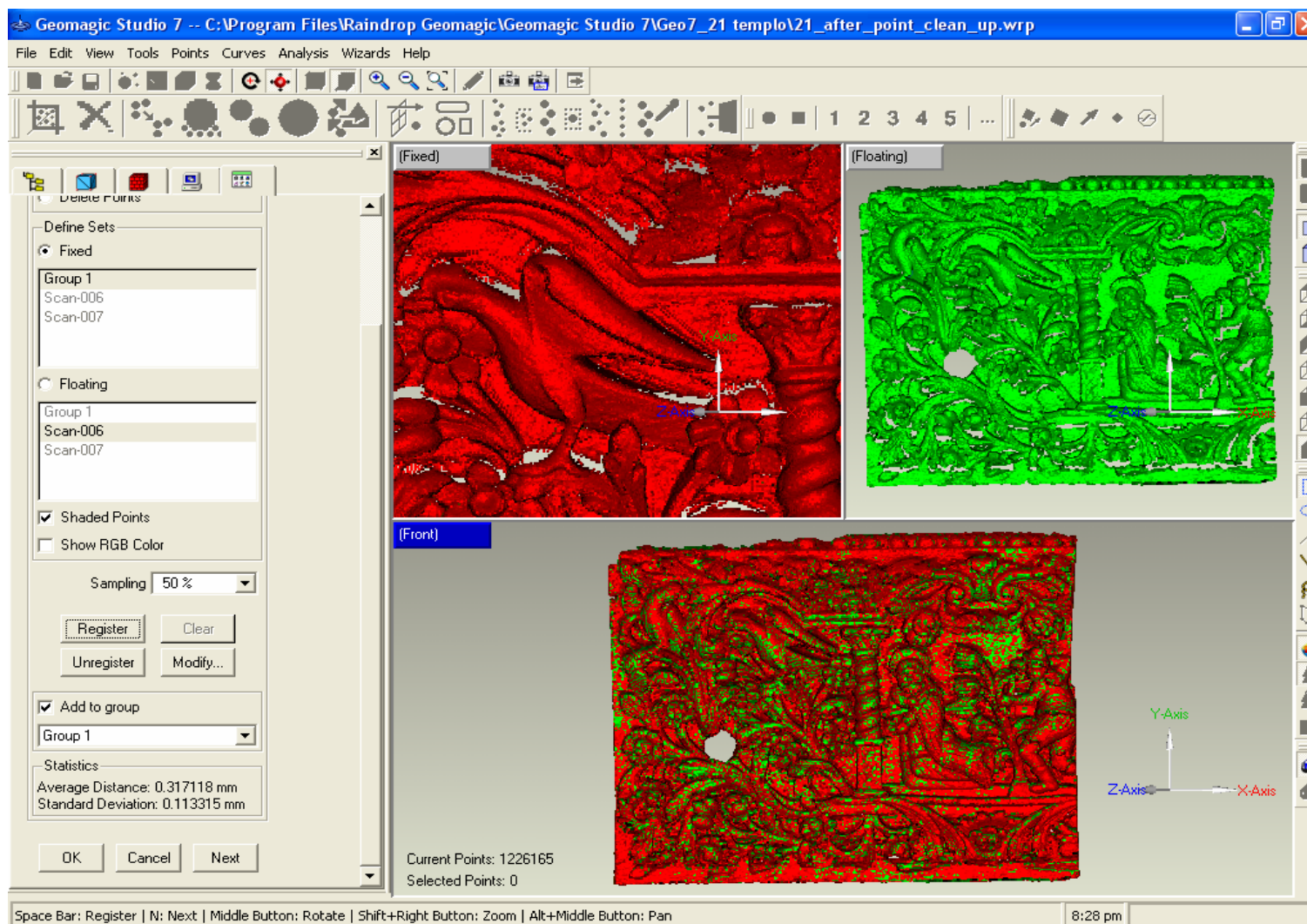
Εικόνα 5.23 Ευθυγράμμιση των πρώτων (Group 1) με την τέταρτη σάρωση (scan 004)



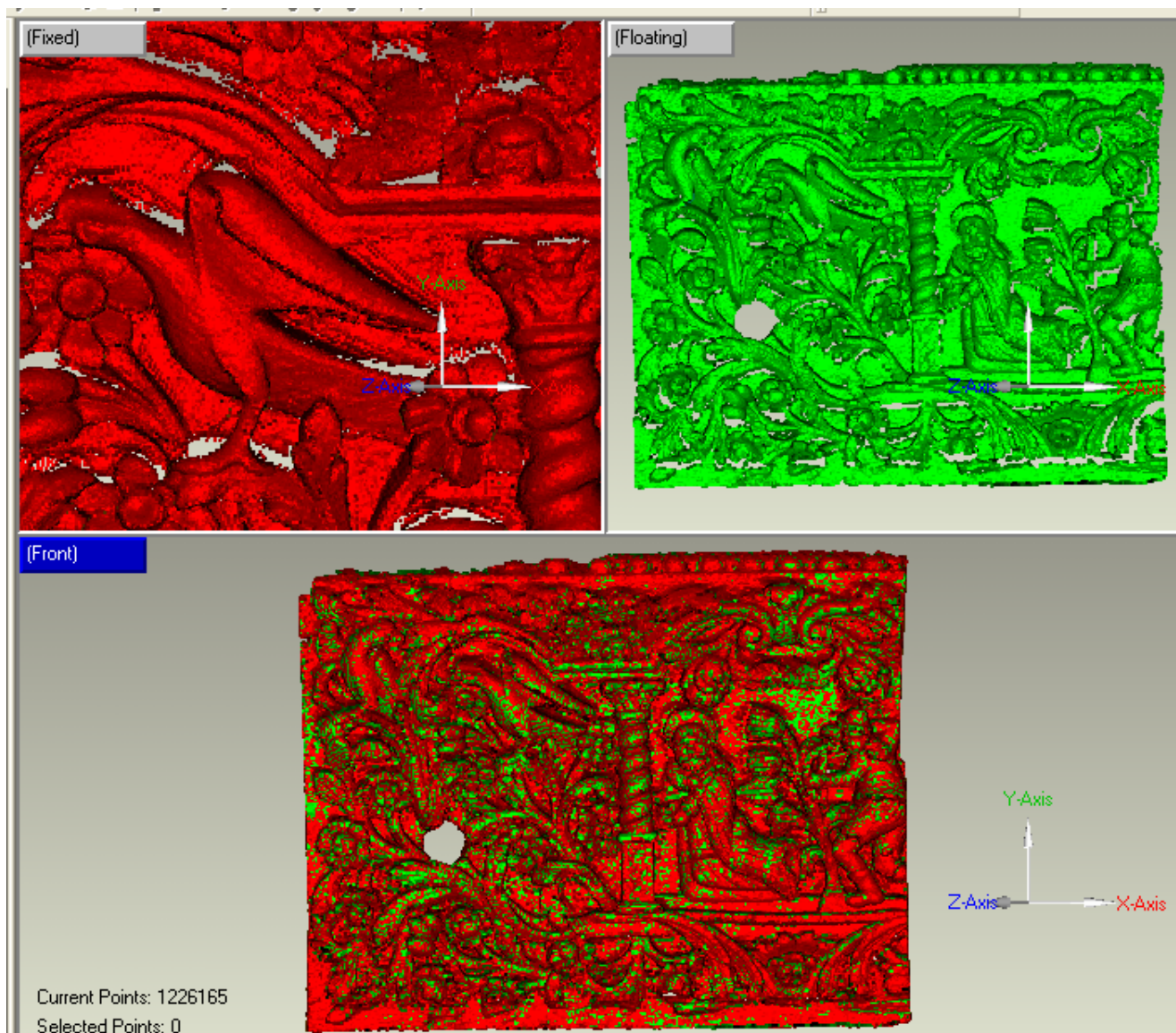
Εικόνα 5.24 Ευθυγράμμιση των πρώτων (Group 1) με την πέμπτη σάρωση (scan 005)



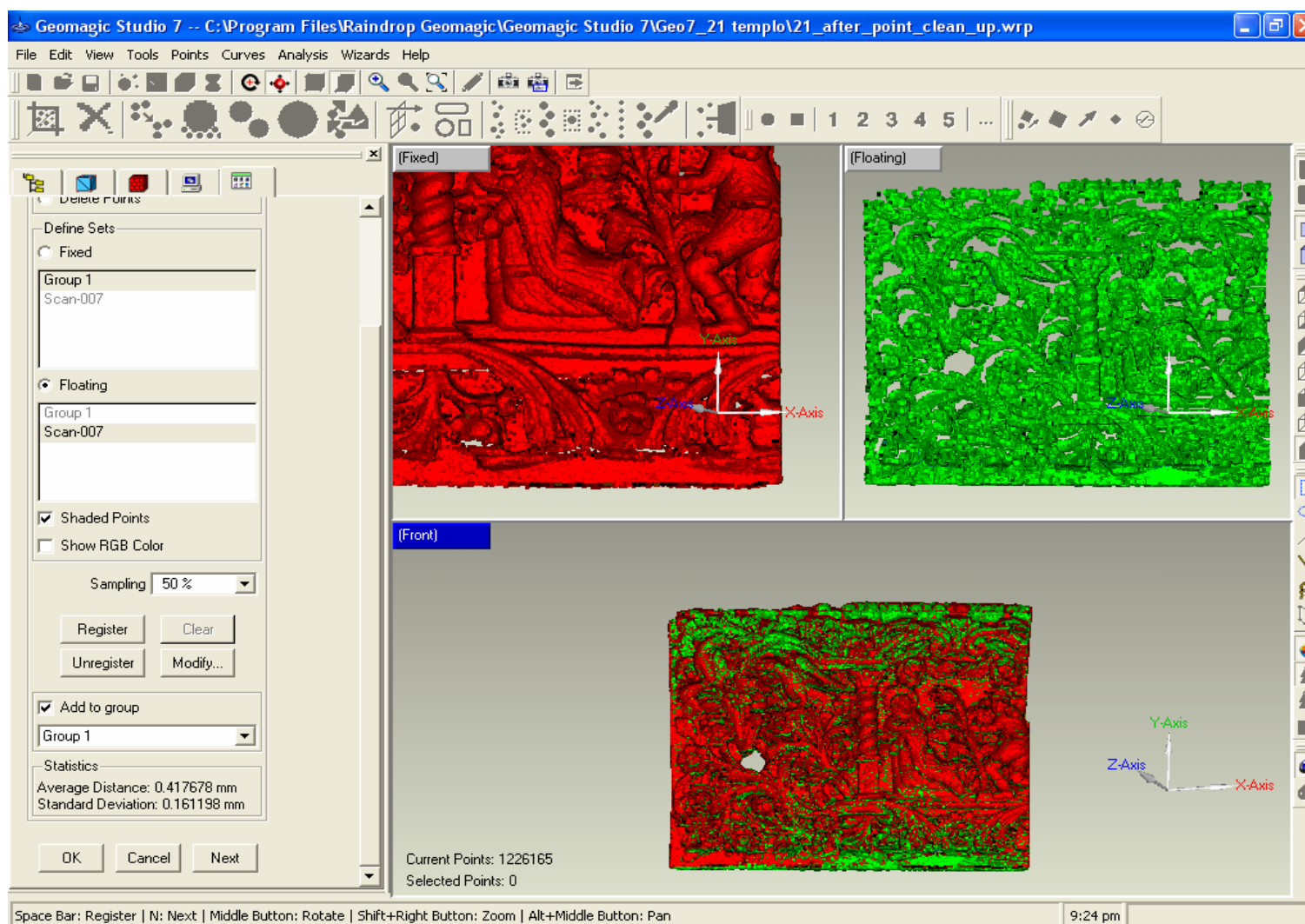
Εικόνα 5.25 Ευθυγράμμιση των πρώτων (Group 1) με την πέμπτη σάρωση (scan 005)



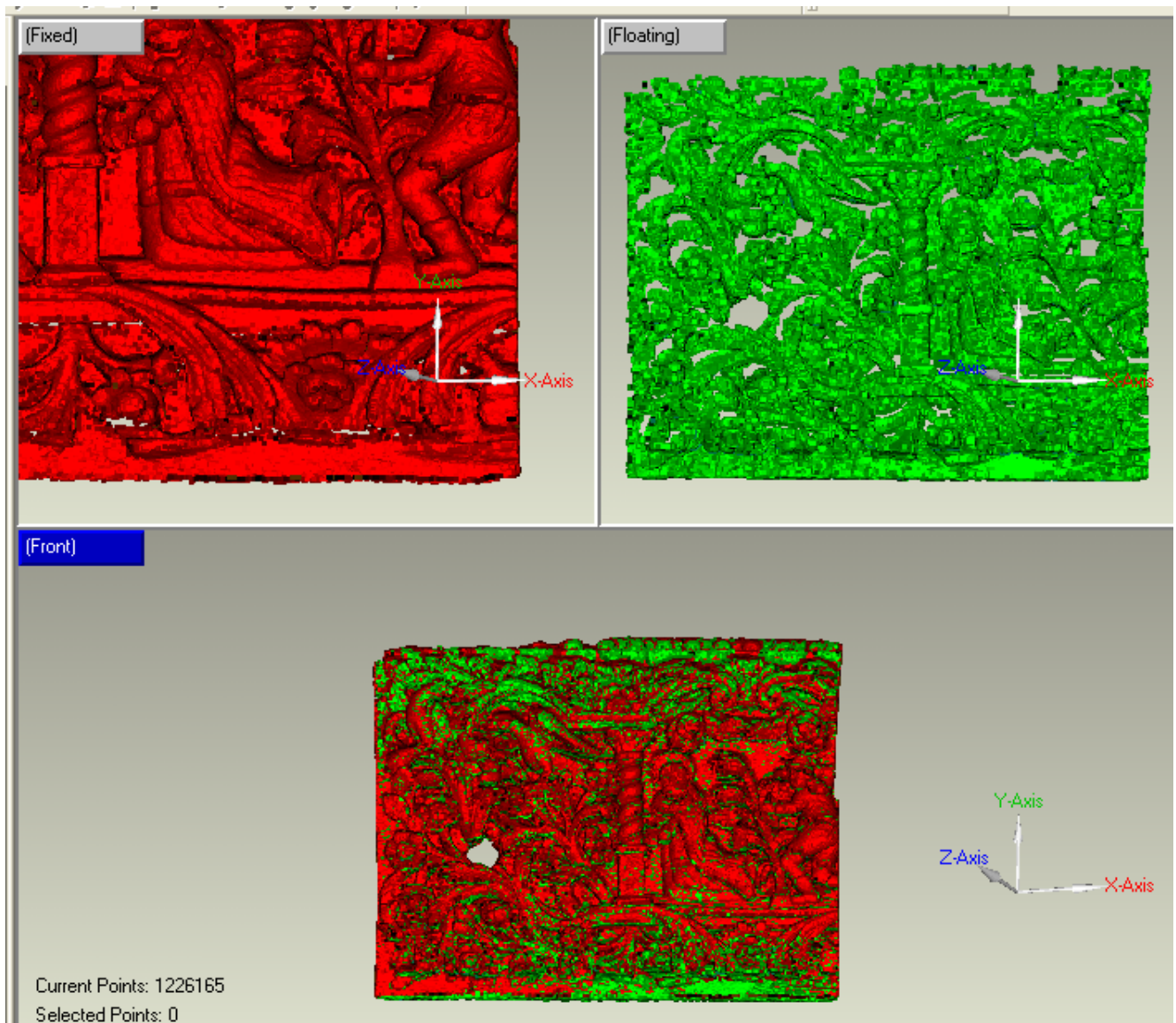
Εικόνα 5.26 Ευθυγράμμιση των πρώτων (Group 1) με την έκτη σάρωση (scan 006)



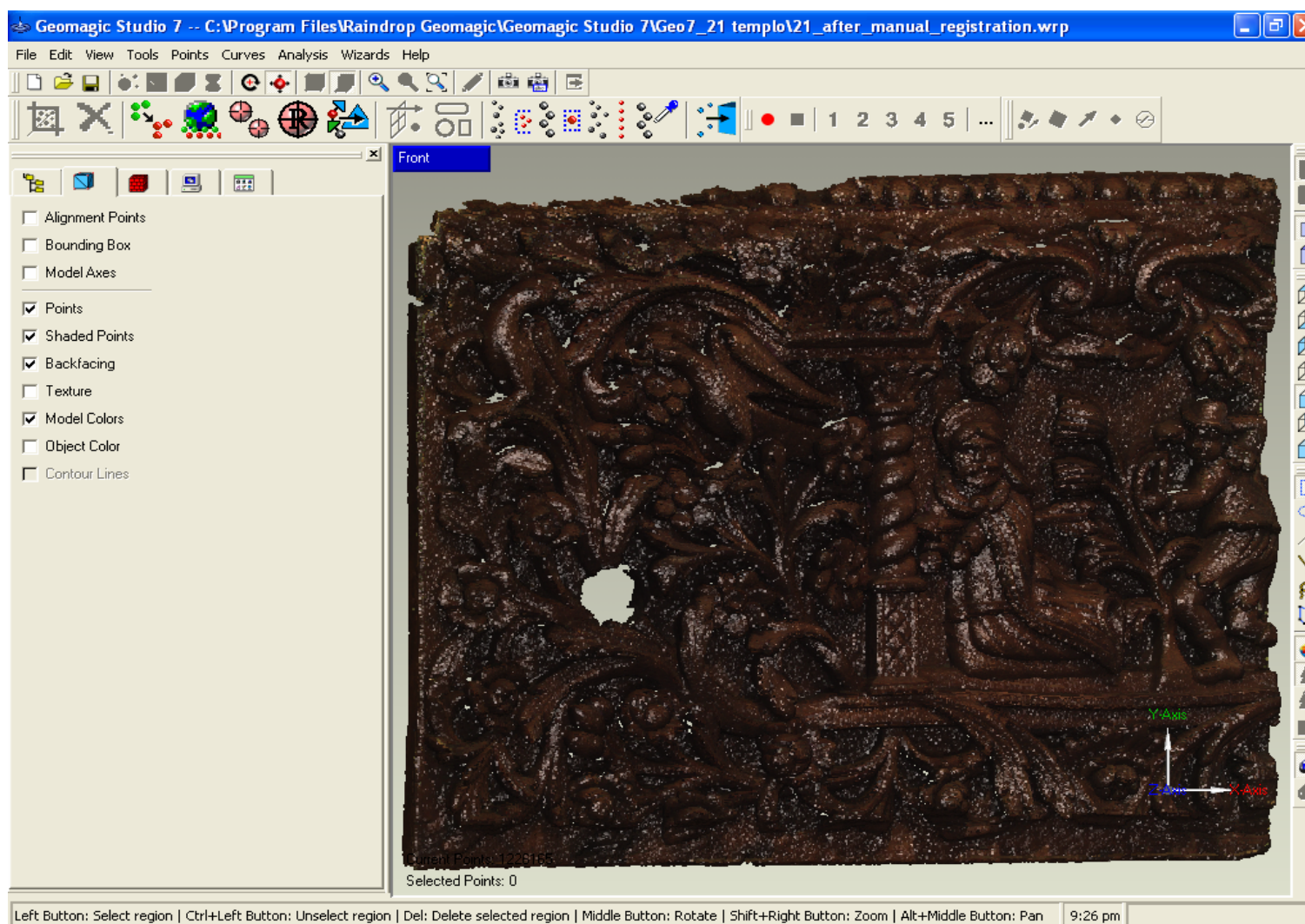
Εικόνα 5.27 Ευθυγράμμιση των πρώτων (Group 1) με την έκτη σάρωση (scan 006)



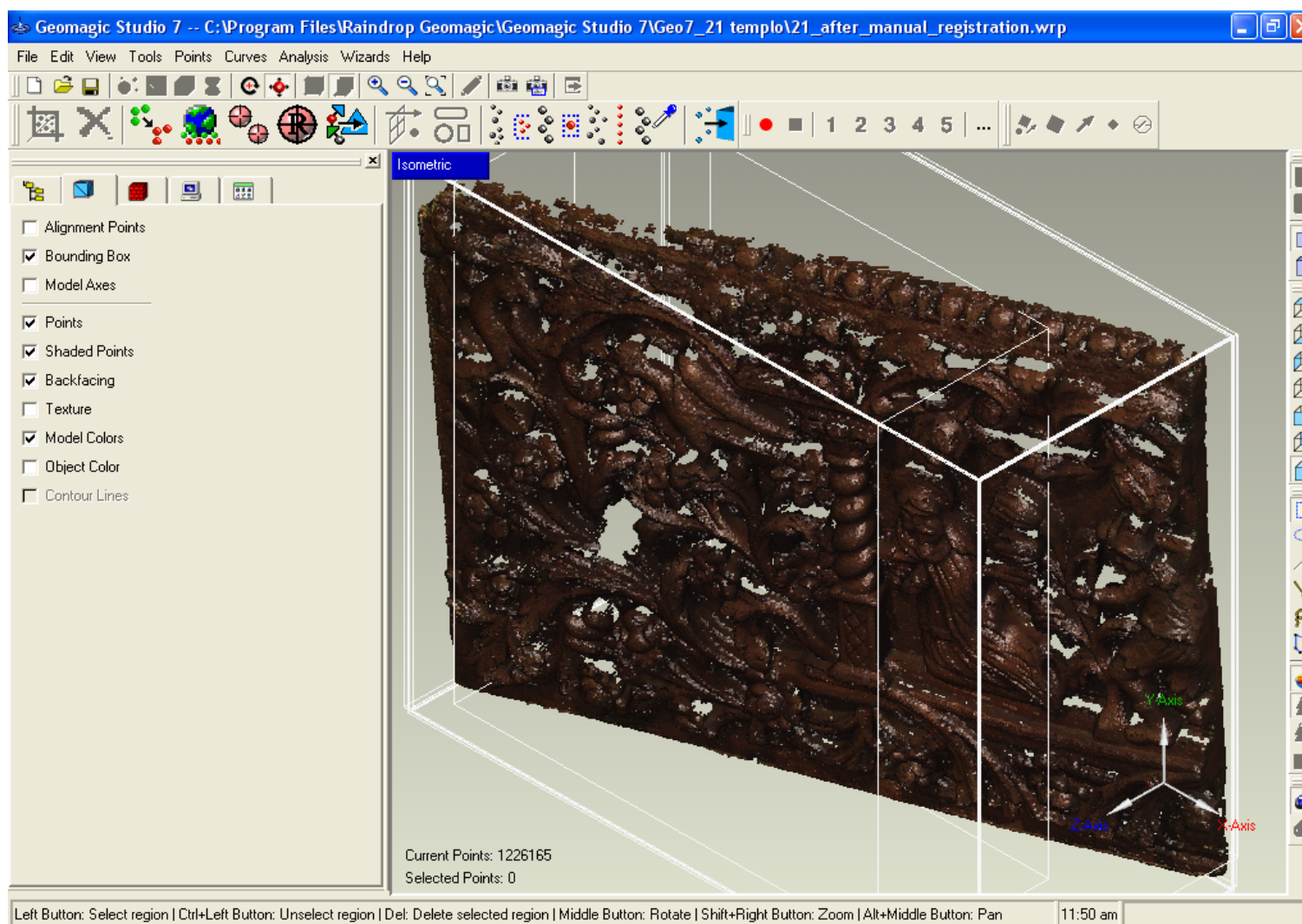
Εικόνα 5.28 Ευθυγράμμιση των πρώτων (Group 1) με την έβδομη σάρωση (scan 007)



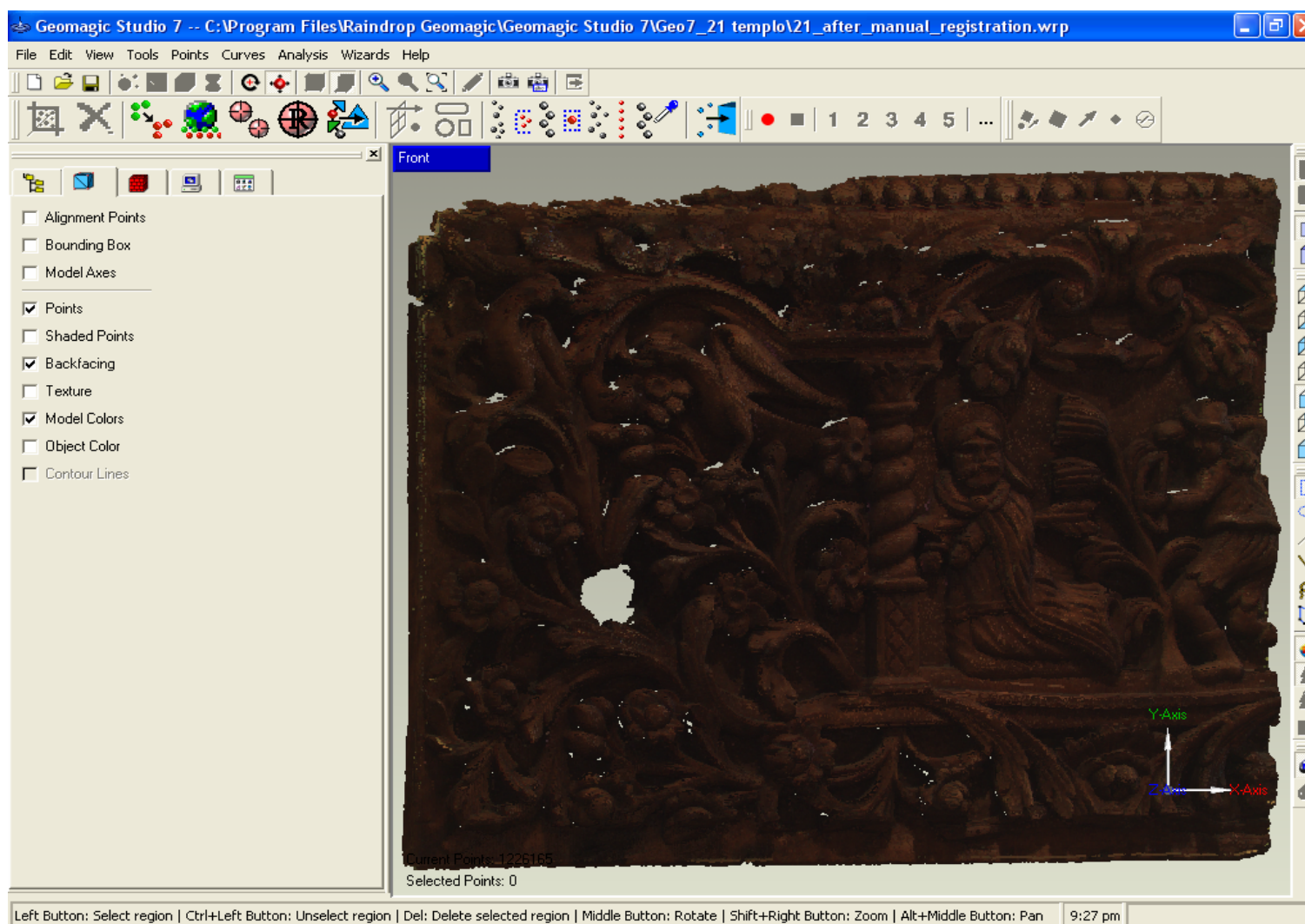
Εικόνα 5.29 Ευθυγράμμιση των πρώτων (Group 1) με την έβδομη σάρωση (scan 007)



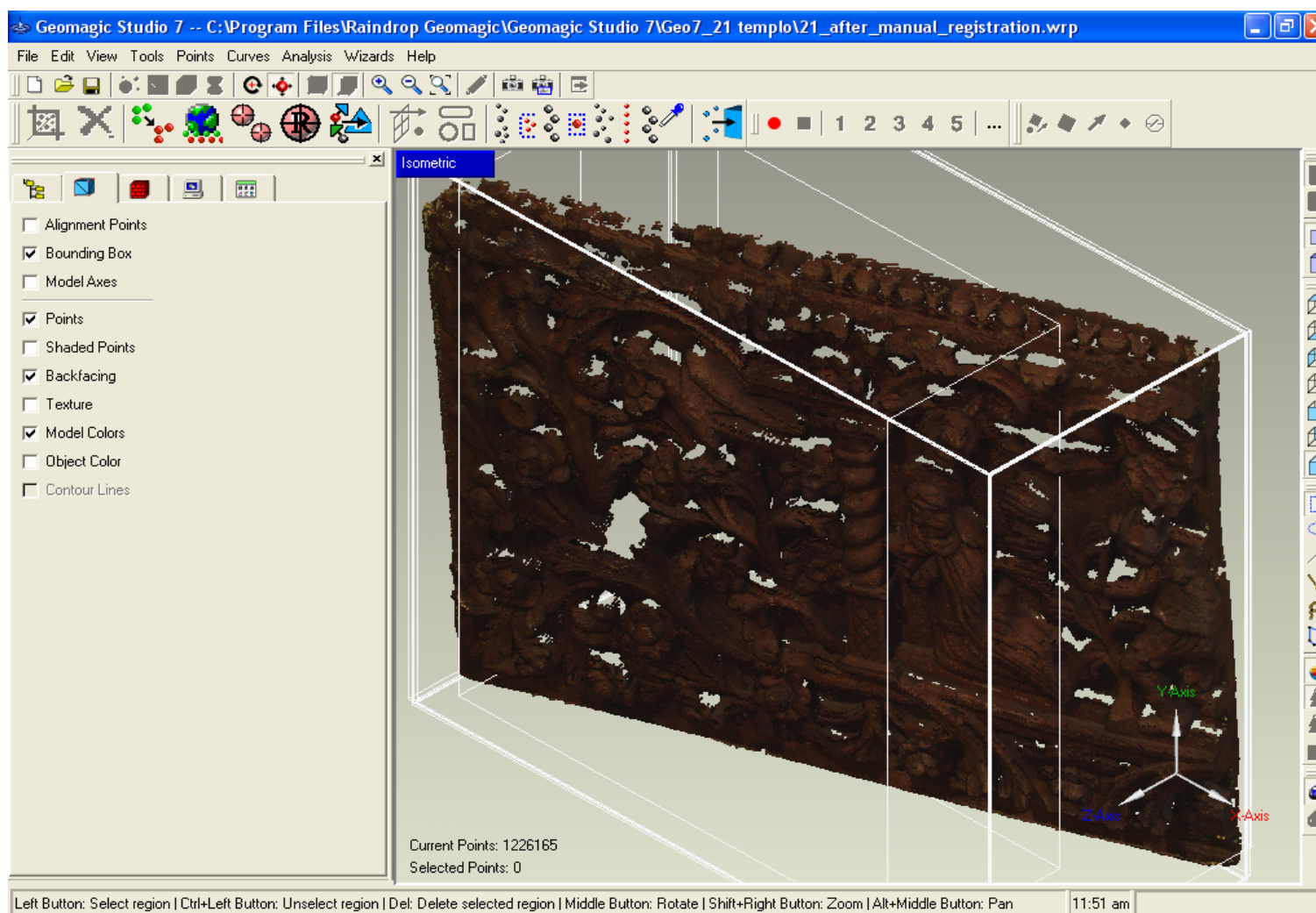
Εικόνα 5.30 Ολοκλήρωση του manual registration – εμφάνιση points, shaded points, backfacing, model colors



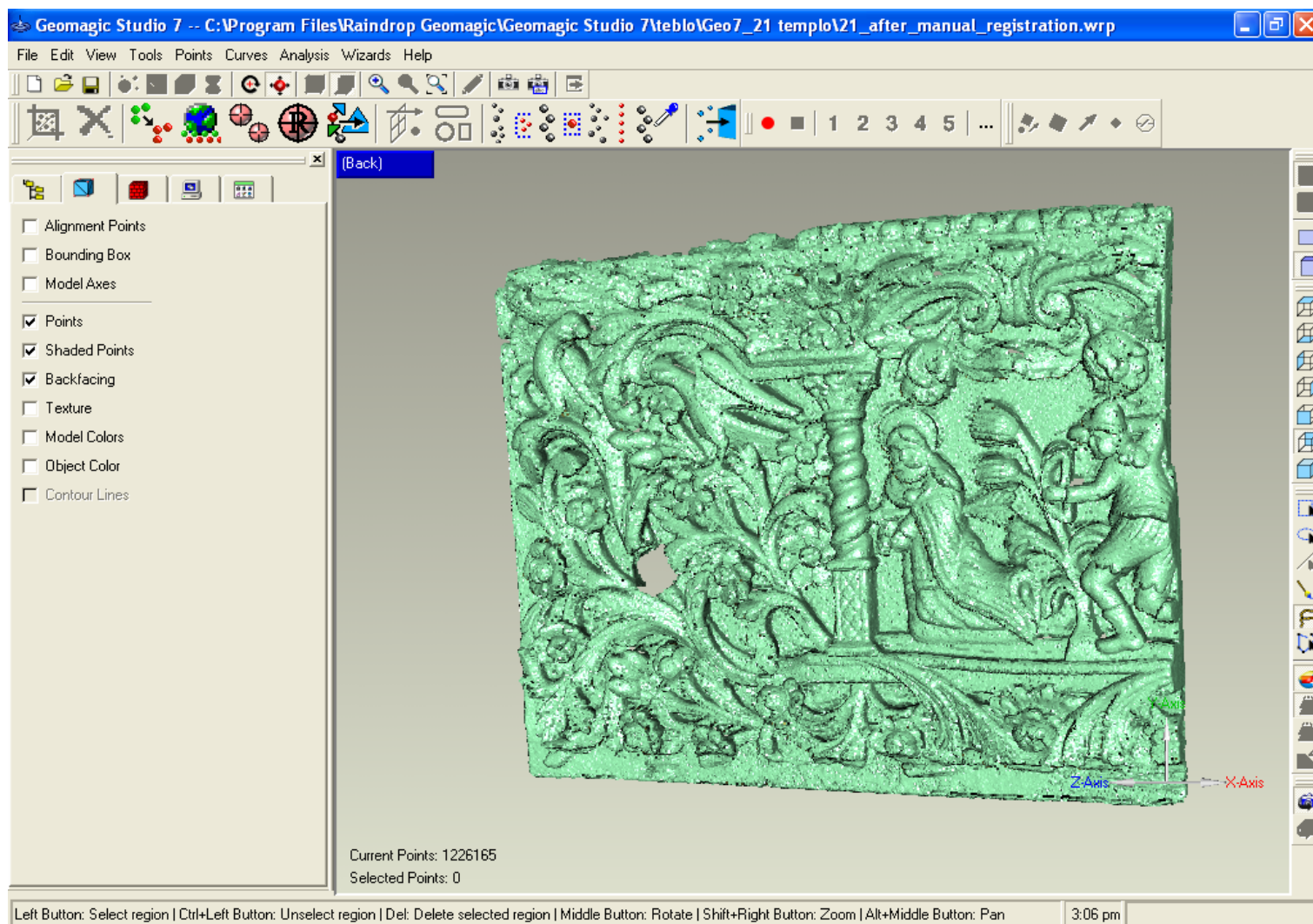
Εικόνα 5.31 Ολοκλήρωση του manual registration – εμφάνιση points, shaded points, backfacing, model colors, bounding box



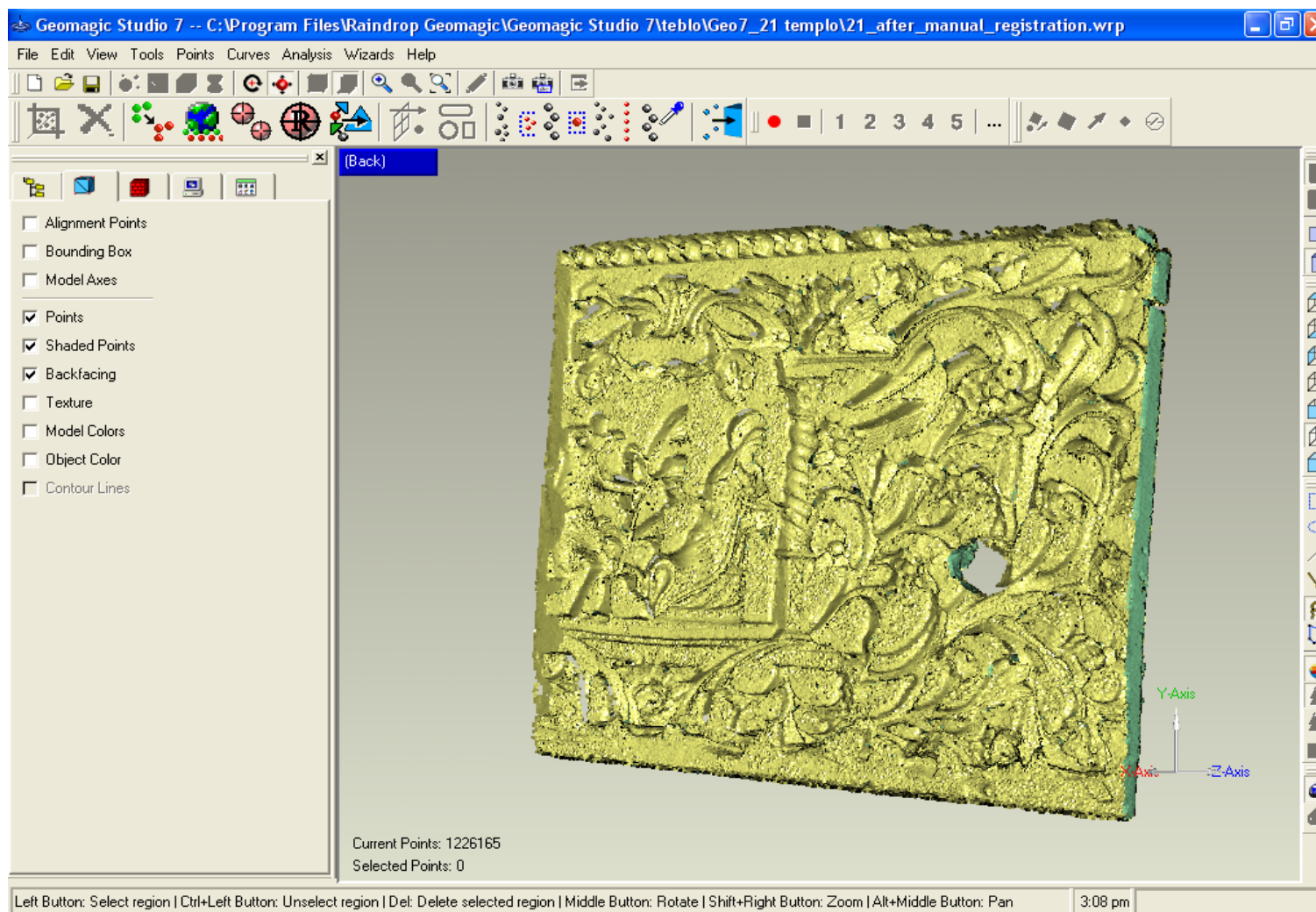
Εικόνα 5.32 Ολοκλήρωση του manual registration – εμφάνιση points, backfacing, model colors



Εικόνα 5.33 Ολοκλήρωση του manual registration – εμφάνιση points, backfacing, model colors, bounding box



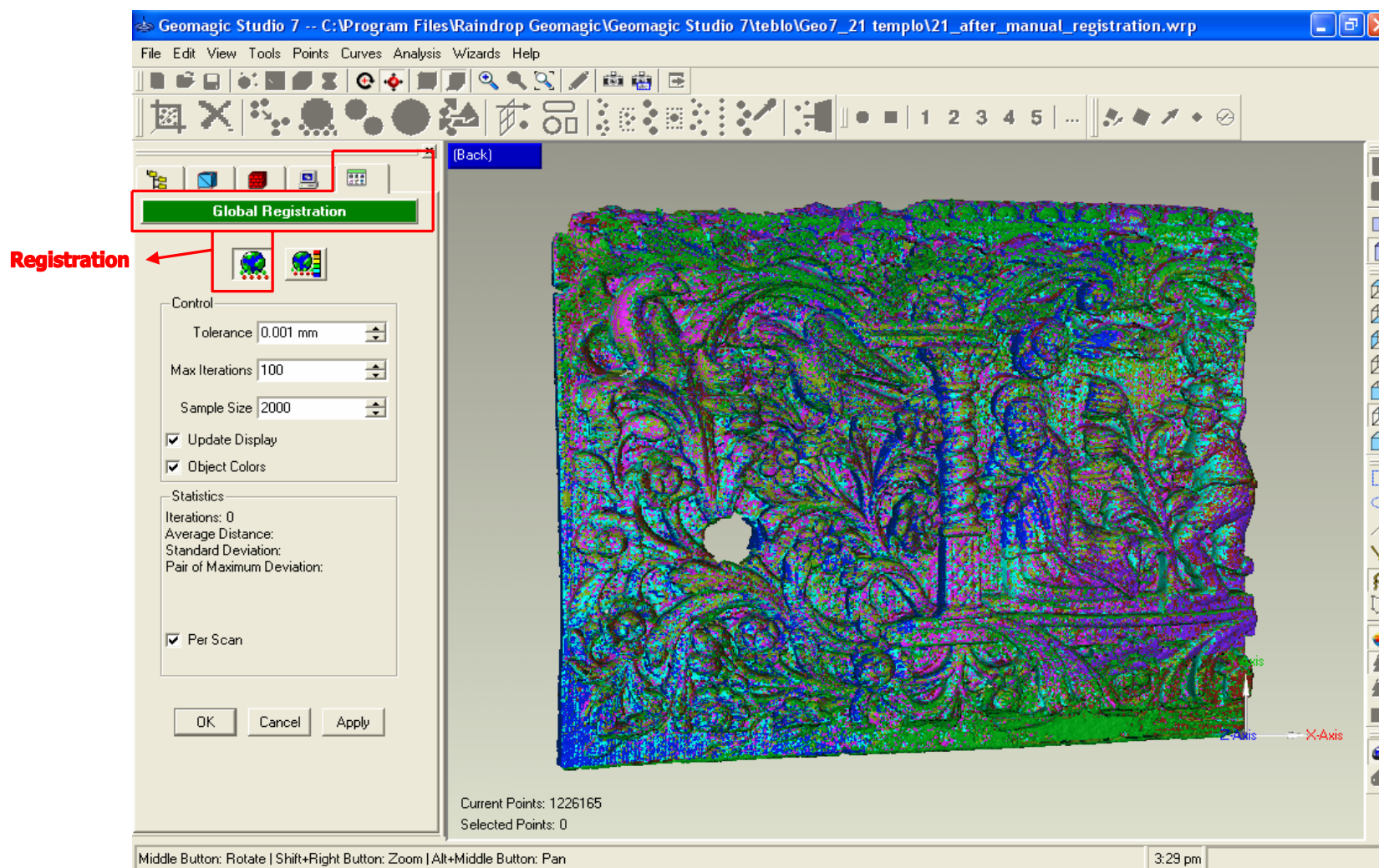
Εικόνα 5.34 Ολοκλήρωση του manual registration – εμφάνιση points, shaded points, backfacing (μπροστινό τμήμα)



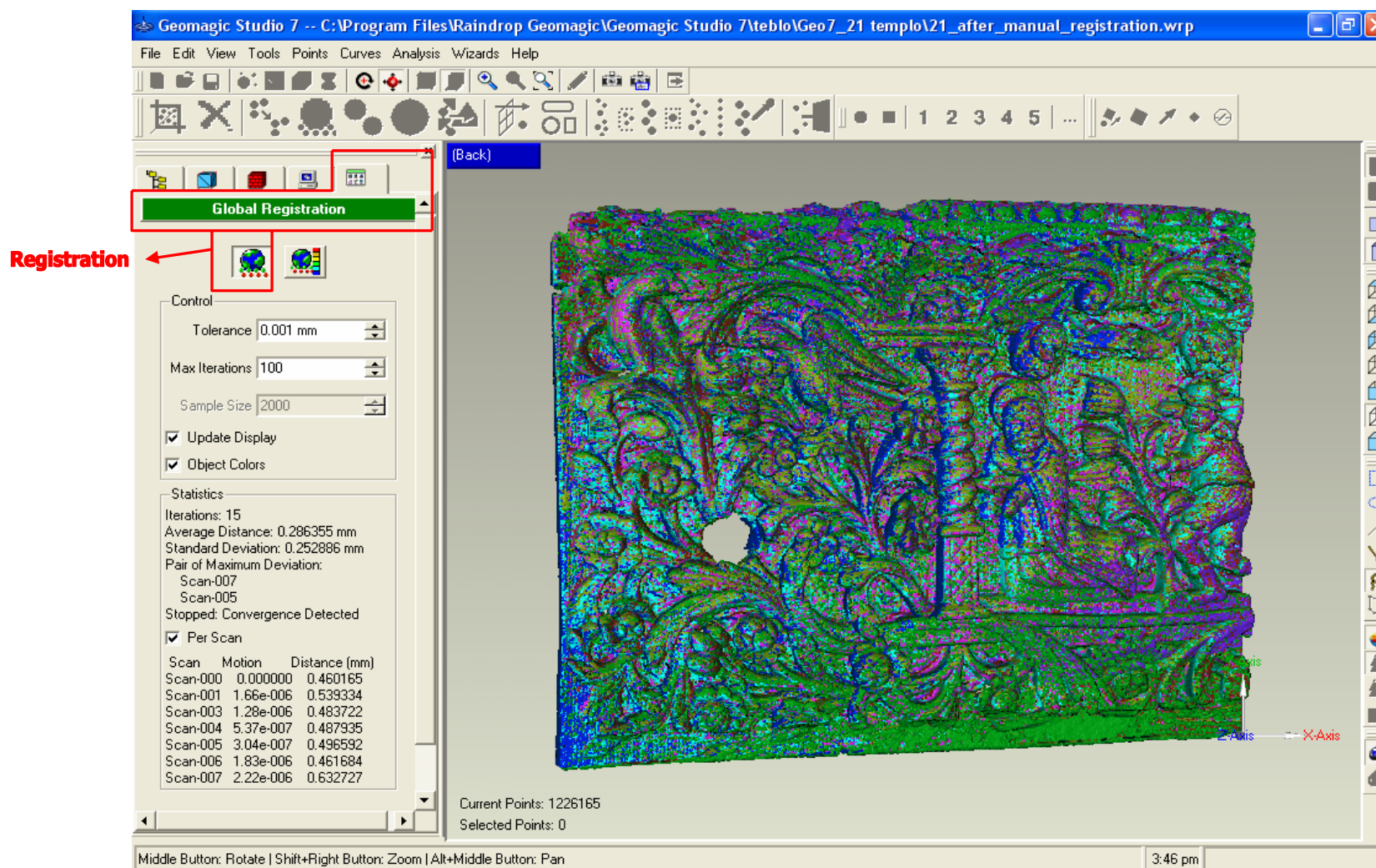
Εικόνα 5.35 Ολοκλήρωση του manual registration – εμφάνιση points, shaded points, backfacing (πίσω επιφάνεια)

Μετά την ολοκλήρωση του manual registration ακολουθεί το global registration. Αν και έχουμε ευθυγραμμίσει τις σαρώσεις του αντικειμένου, εξακολουθούν τις περισσότερες φορές, να υπάρχουν κάποιες αποκλίσεις οι οποίες μπορούν να διορθωθούν με τη χρήση του global registration. Ουσιαστικά, με βάση συγκεκριμένους αλγόριθμους, υπολογίζει τις αποστάσεις μεταξύ όλων των σαρώσεων και προσπαθεί να διορθώσει τυχόν αποκλίσεις μετακινώντας τις σαρώσεις σε βέλτιστο σημείο. Οι αλγόριθμοι που περιέχει και οι ρυθμίσεις που μας επιτρέπει να κάνουμε, το καθιστά ικανό εργαλείο για να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα (τις περισσότερες φορές). Επιλέγοντας την διαδικασία του global registration, δίνεται η δυνατότητα μέσω του dialog manager (στα αριστερά της οθόνης), της επιλογής ρυθμίσεων. Έχουμε να διαλέξουμε μεταξύ κάποιων βασικών ρυθμίσεων για ευθυγράμμιση και κάποιων που έχουν να κάνουν με το dynamic display και την ανάλυση του αντικειμένου όσον αφορά τις βελτιώσεις και τις αποκλίσεις των διαφόρων σημείων του. Αφήνουμε τις ρυθμίσεις στην προεπιλεγμένη τιμή τους και αρχίζουμε την διαδικασία. Η διαδικασία και οι αρχικές ρυθμίσεις παρουσιάζονται στις εικόνες 5.36 έως 5.40.

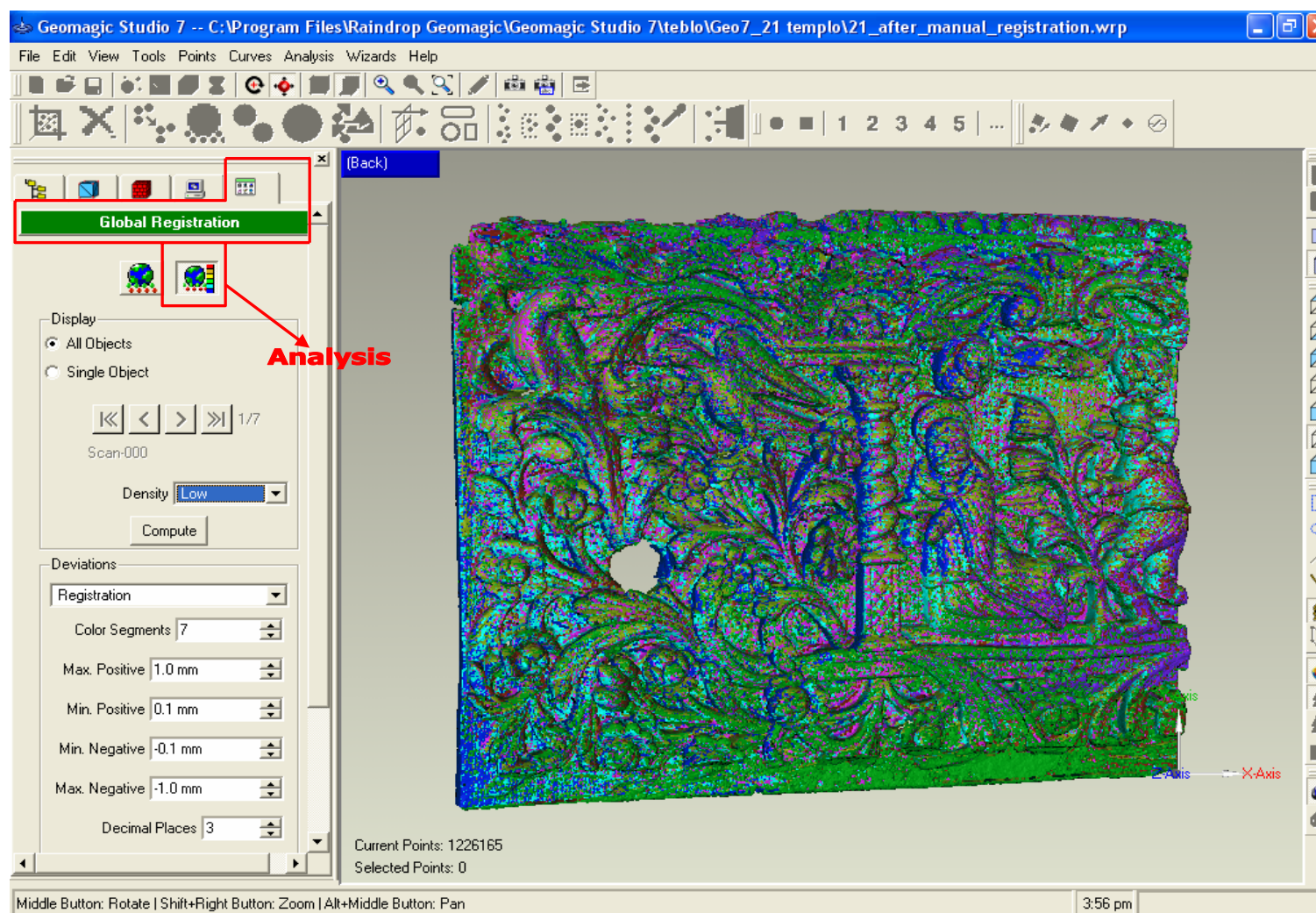
Εφαρμόζοντας την διαδικασία (apply), παρατηρούμε στο παράθυρο του manager panel διάφορους υπολογισμούς όσον αφορά τις αποκλίσεις των σημείων και των ευθυγραμμίσεων (Εικόνα 5.36). Έπειτα από ορισμένες επαναλήψεις του αλγορίθμου όπου τα αποτελέσματα συγκλίνουν σε κάποιες τιμές, ο αλγόριθμος σταματά και παρουσιάζονται οι τιμές των τελικών αποκλίσεων που βρέθηκαν κατά την λειτουργία της ευθυγράμμισης.



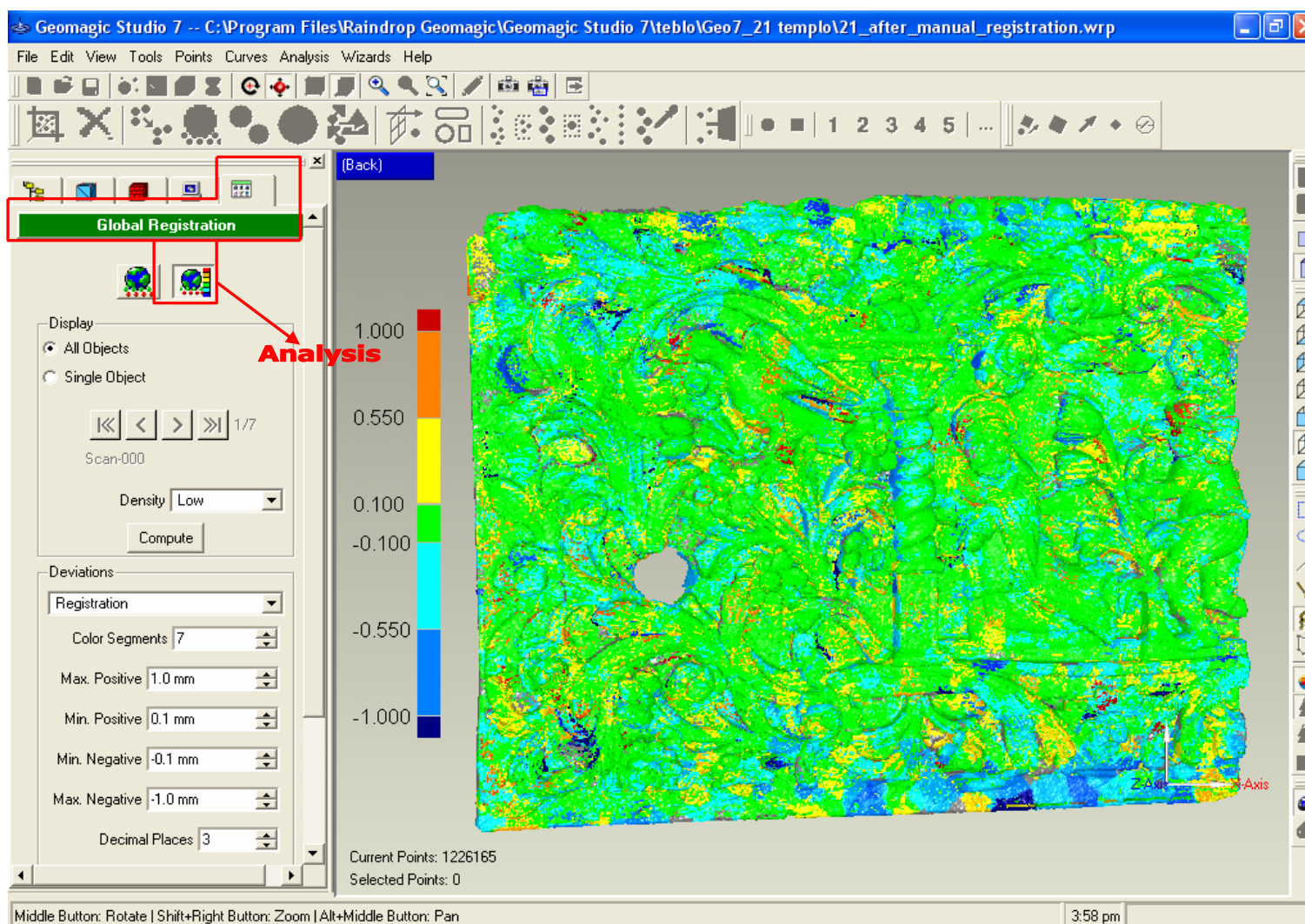
Εικόνα 5.36 Βασικές ρυθμίσεις του global registration (ρυθμίσεις ευθυγράμμισης - Registration)



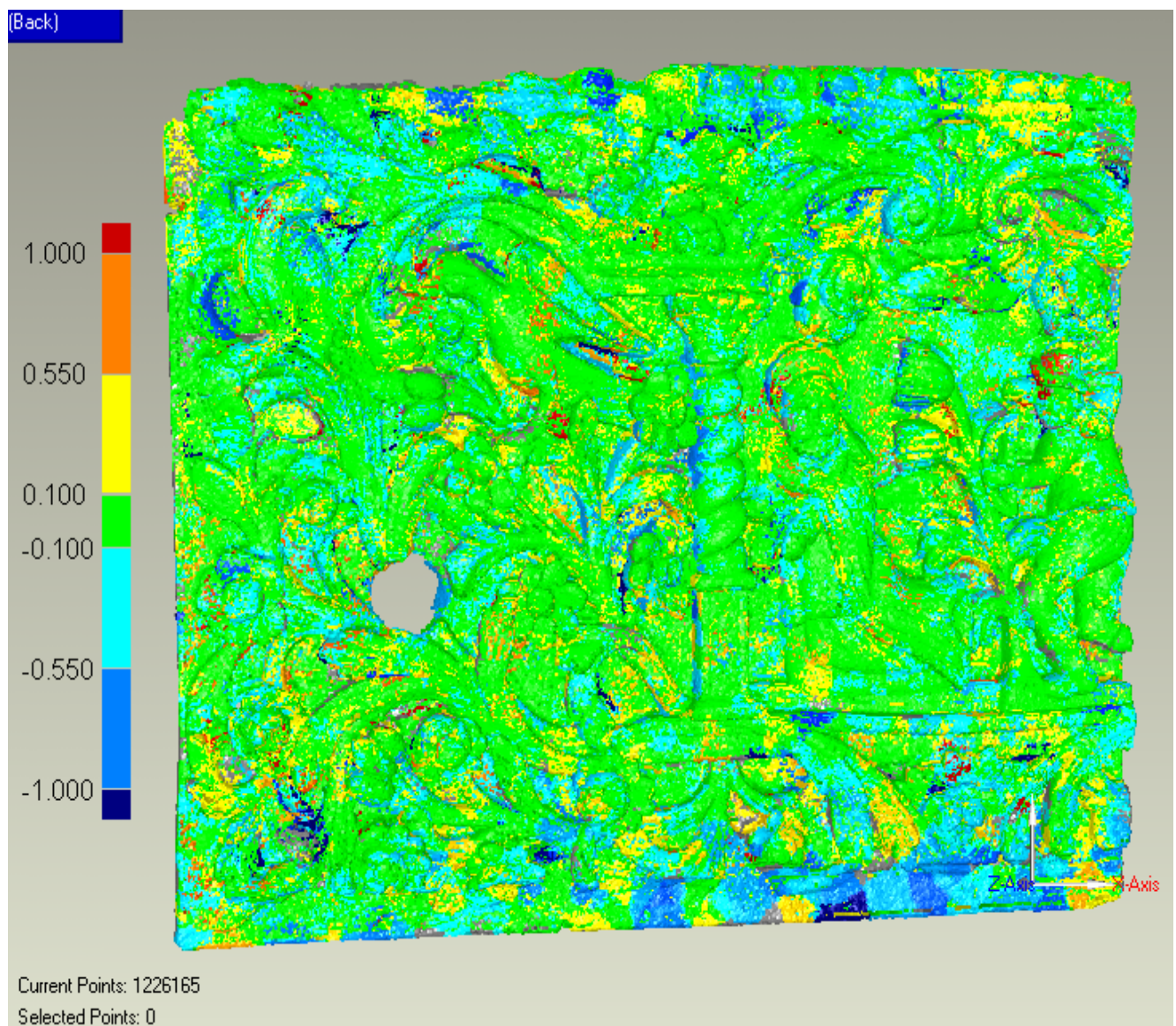
Εικόνα 5.37 Τελικές αποκλίσεις των σαρώσεων μετά από 15 επαναλήψεις



Εικόνα 5.38 Βασικές ρυθμίσεις του global registration (ρυθμίσεις Dynamic Display και Analysis)



Εικόνα 5.39 Αποτελέσματα του global registration – Analysis, παρουσίαση μετακίνησης των σαρώσεων



Εικόνα 5.40 Αποτελέσματα του global registration – Analysis, παρουσίαση μετακίνησης των σαρώσεων

iii. Διαδικασία τριγωνοποίησης / πολυγωνοποίησης

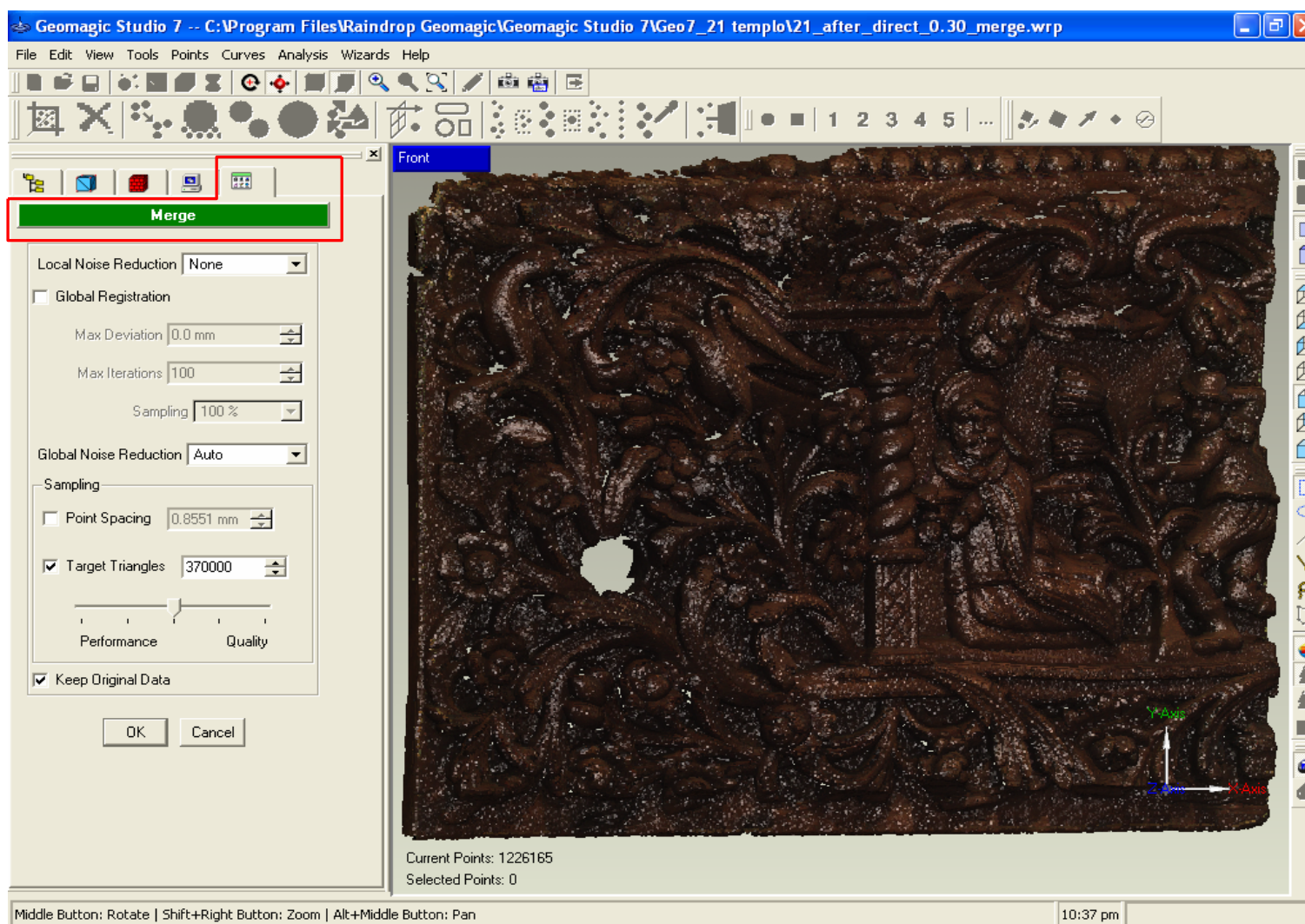
Τώρα που το αντικείμενό μας έχει καθαριστεί και οργανωθεί, μπορούμε να προχωρήσουμε στη διαδικασία δημιουργίας πολυγωνικού πλέγματος και συγχώνευσής του (wrap και merge). Επιλέγουμε Points→ Merge, μιας και η λειτουργία αυτή εκτελεί ταυτόχρονα εκτός από συγχώνευση των σαρώσεων, την πολυγωνοποίηση του αντικειμένου. Θα παρουσιάσουμε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις merge. Η μόνη διαφορά τους, πολύ ουσιαστική όμως, είναι ο αριθμός των τριγώνων του πολυγωνικού πλέγματος σε σχέση με τον αρχικό αριθμό σημείων των επτά σαρώσεων. Πιο συγκεκριμένα θα παρουσιάσουμε πολυγωνικά πλέγματα με το 70%, 50% και 30% των αρχικών σημείων των σαρώσεων. Οι ρυθμίσεις που χρησιμοποιούμε είναι:

Local Noise Reduction→ None

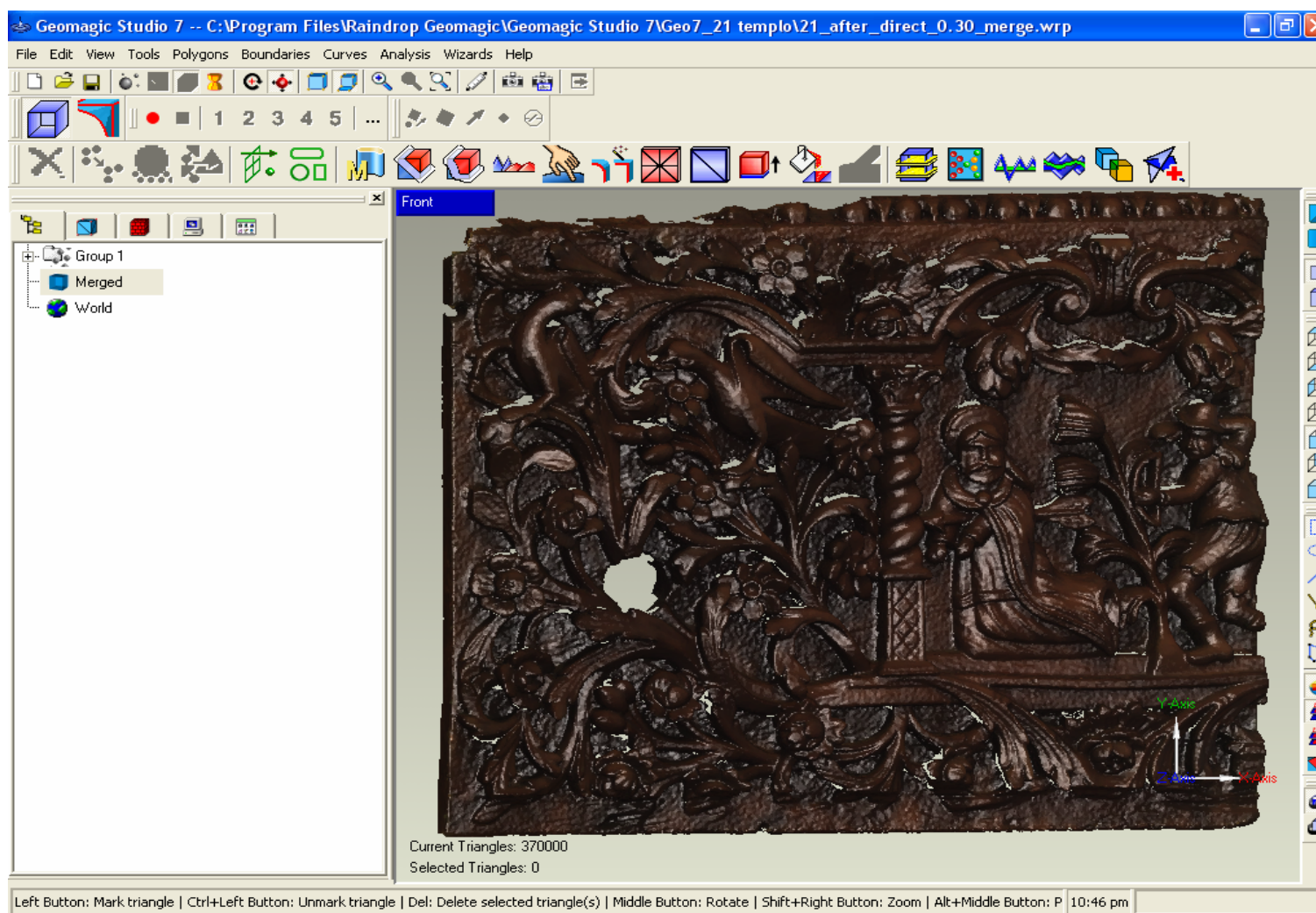
Global Noise Reduction→ Auto

Performance / Quality = 2

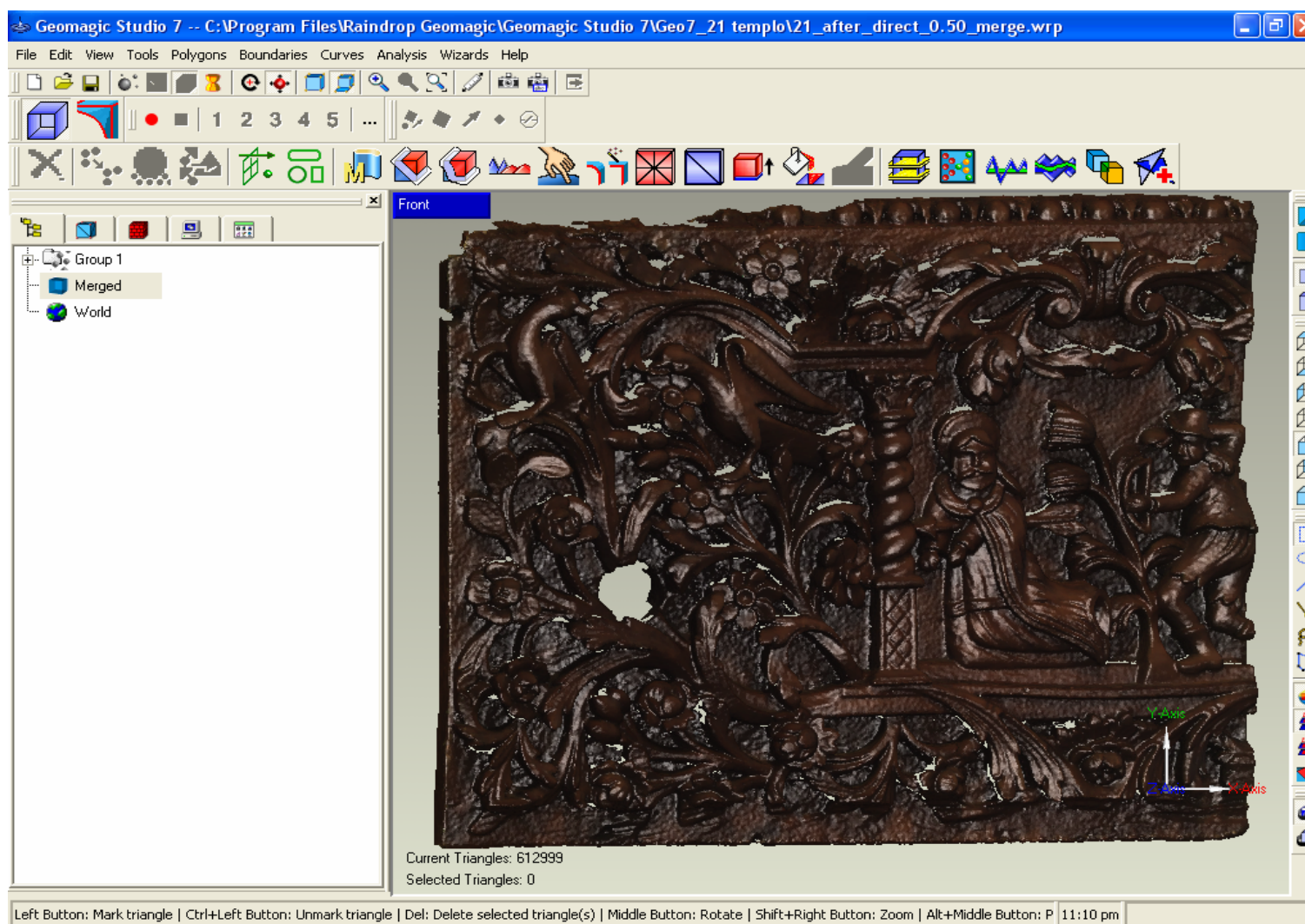
Keep Original Data.



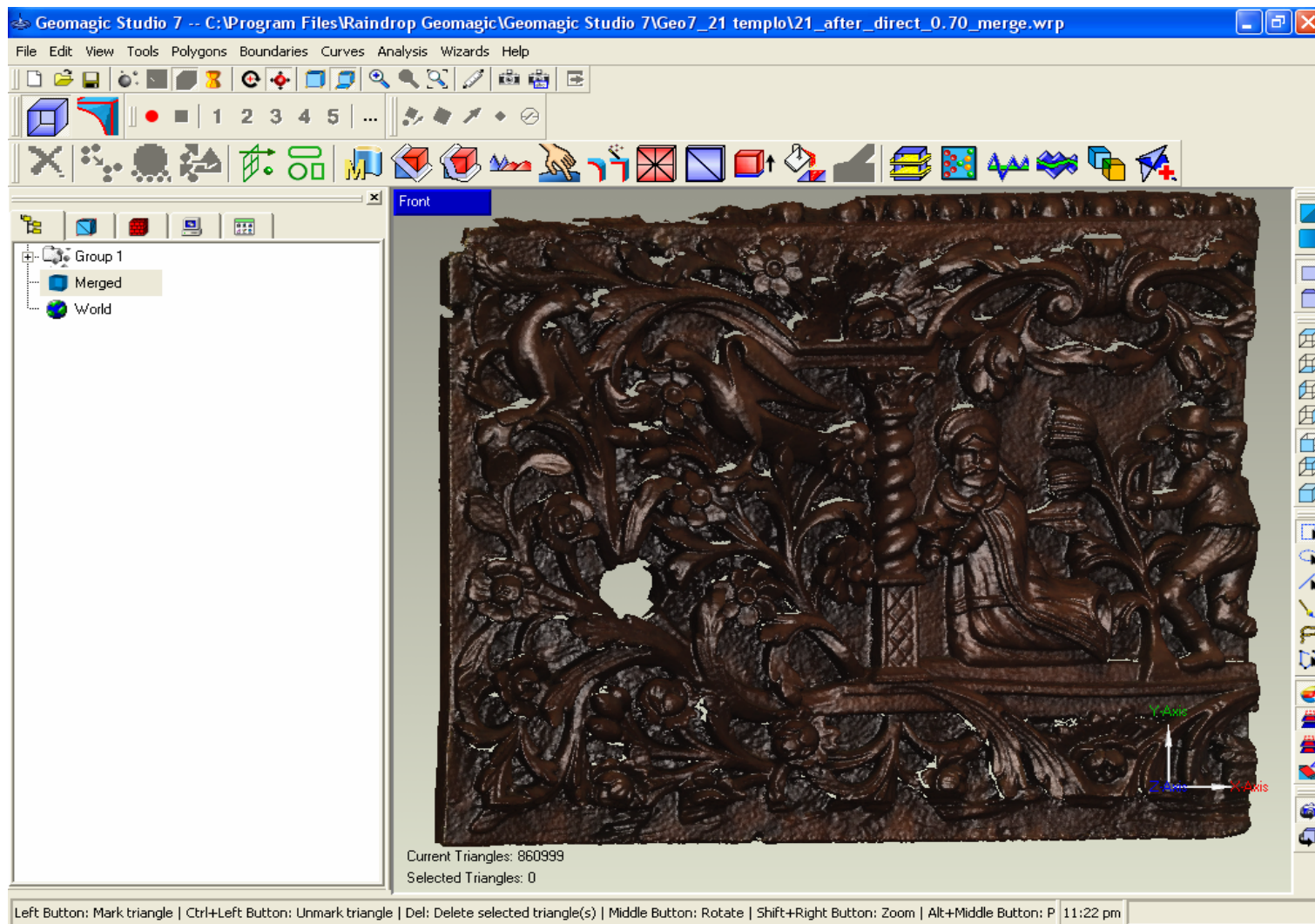
Εικόνα 5.41 Merge χρησιμοποιώντας 30% των αρχικών σημείων (current triangles: 370.000)



Εικόνα 5.42 Αποτέλεσμα του merge χρησιμοποιώντας 30% των αρχικών σημείων (current triangles: 370.000)



Εικόνα 5.43 Αποτέλεσμα του merge χρησιμοποιώντας 50% των αρχικών σημείων (current triangles: 613.000)



Εικόνα 5.44 Αποτέλεσμα του merge χρησιμοποιώντας 70% των αρχικών σημείων (current triangles: 861.000)

b) Φάση Πολυγώνων

i. Καθαρισμός πολυγωνικού πλέγματος

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση του merge δεν υπάρχουν εμφανείς διαφορές στην μορφή του αντικειμένου που επεξεργαζόμαστε. Για να είμαστε πιο ακριβείς, οι διαφορές που υπάρχουν δεν είναι εμφανείς με γυμνό οφθαλμό. Οπότε, αυτό που μας συμφέρει να κάνουμε είναι να διαλέξουμε την μορφή με τα λιγότερα τρίγωνα / πολύγωνα (αφού δεν χάνουμε από την ποιότητα εμφάνισης του αντικειμένου), μιας και αυτό σημαίνει μικρότερο μέγεθος αρχείου. Άρα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως ακόμα και με μόλις το 30% του συνολικού αρχικού αριθμού των σημείων του νέφους, έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς τη μορφή του αντικειμένου ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία.

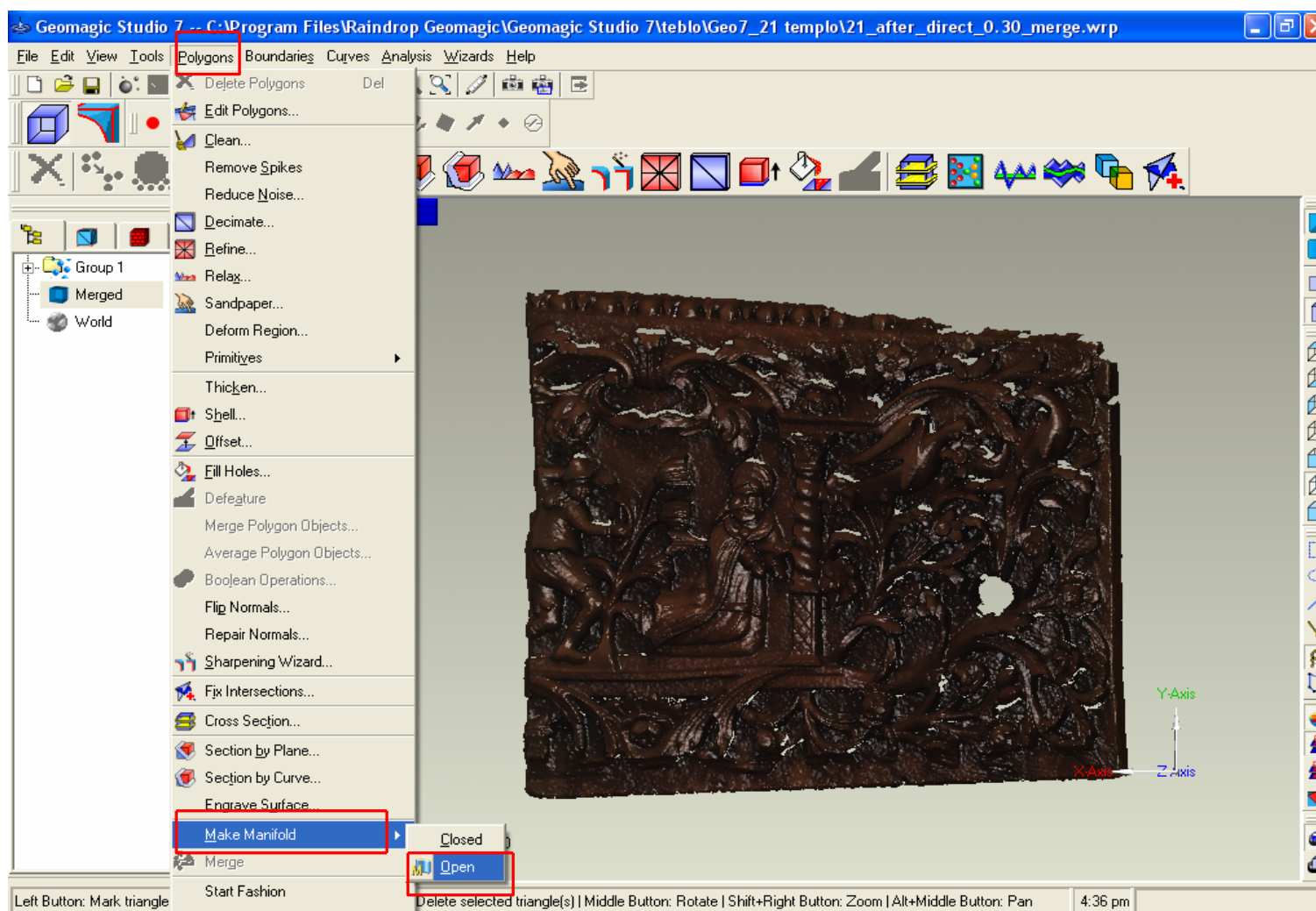
Επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία του πολυγωνικού πλέγματος ώστε να το φέρουμε σε ικανοποιητική μορφή για να μπορούμε να εξάγουμε το είδος αρχείου που μας ενδιαφέρει. Αυτό σημαίνει πως πρέπει να δημιουργήσουμε μια κλειστή επιφάνεια στο σύνολό της.

Εκτελούμε την εντολή Polygons→ Make Manifold→ Open. Με την εντολή αυτή διαγράφονται όλα τα τρίγωνα τα οποία δεν ενώνονται με άλλα τρίγωνα με όλες τις πλευρές τους. Τυχόν ανοιχτά τρίγωνα τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν ανοιχτά τμήματα επομένως διαγράφονται. Επειδή τα τρίγωνα για τα οποία μιλάμε έχουν πολύ μικρό μέγεθος, δεν υπάρχουν εμφανή αποτελέσματα στην viewing area.

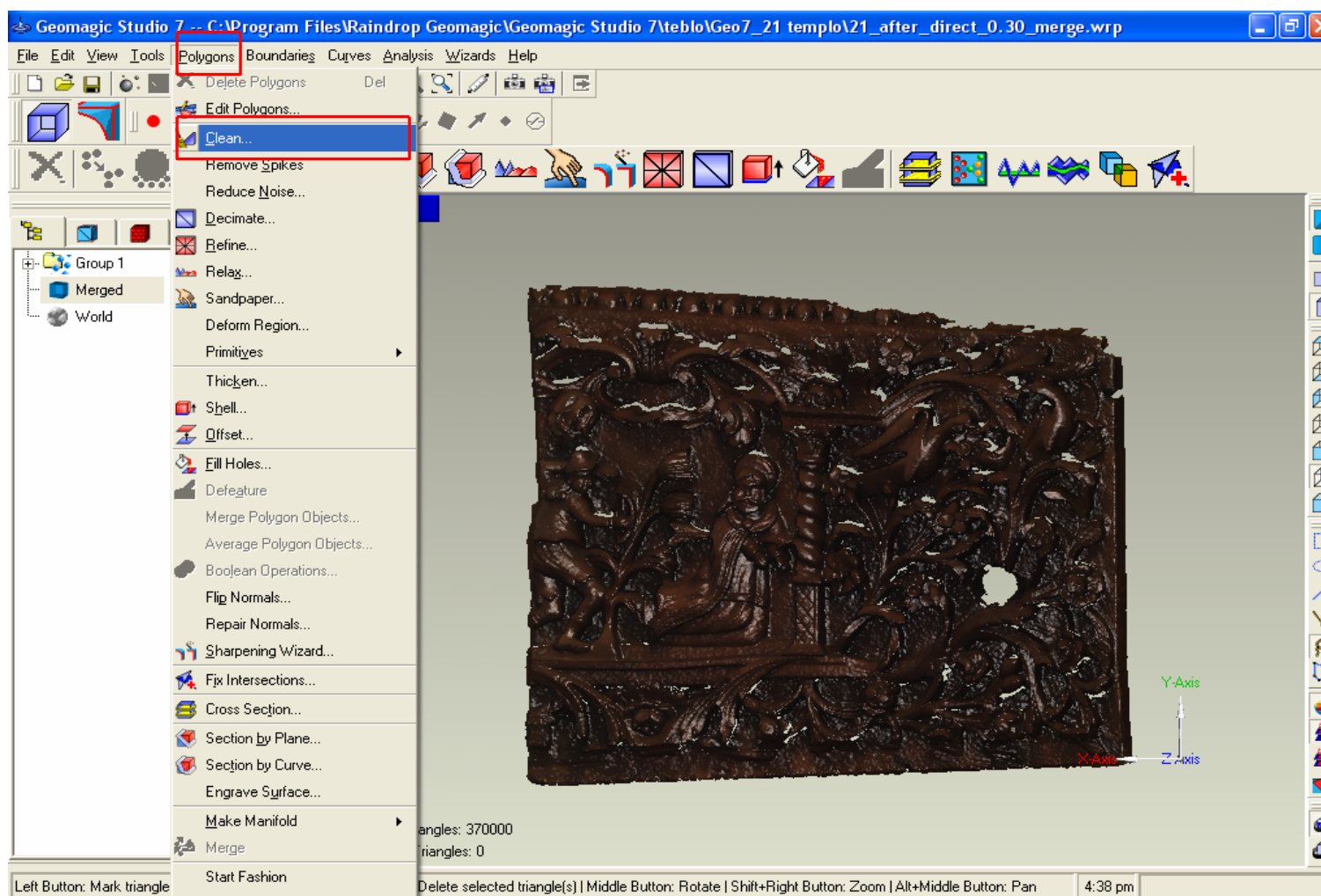
Έπειτα προχωράμε με καθαρισμό της τριγωνοποιημένης επιφάνειας. Η εντολή αυτή εφαρμόζει ένα αλγόριθμο ο οποίος βελτιώνει την τριγωνοποίηση της επιφάνειας αλλάζοντας τον προσανατολισμό κάποιων τριγώνων, ομαλοποιώντας το τριγωνικό πλέγμα όπου χρειάζεται, αφαιρώντας βαθουλώματα της επιφάνειας, αιχμές ή κοψίματα. Η εντολή αυτή δεν αλλάζει την τριγωνοποιημένη επιφάνεια, απλά βελτιώνει το ήδη υπάρχων τριγωνικό πλέγμα (Polygons→ Clean).

Ακόμα μια εντολή που βοηθά στην ομαλοποίηση του τριγωνικού πλέγματος και στην ελάττωση των ασυνεχειών είναι η Remove spikes. Κατά

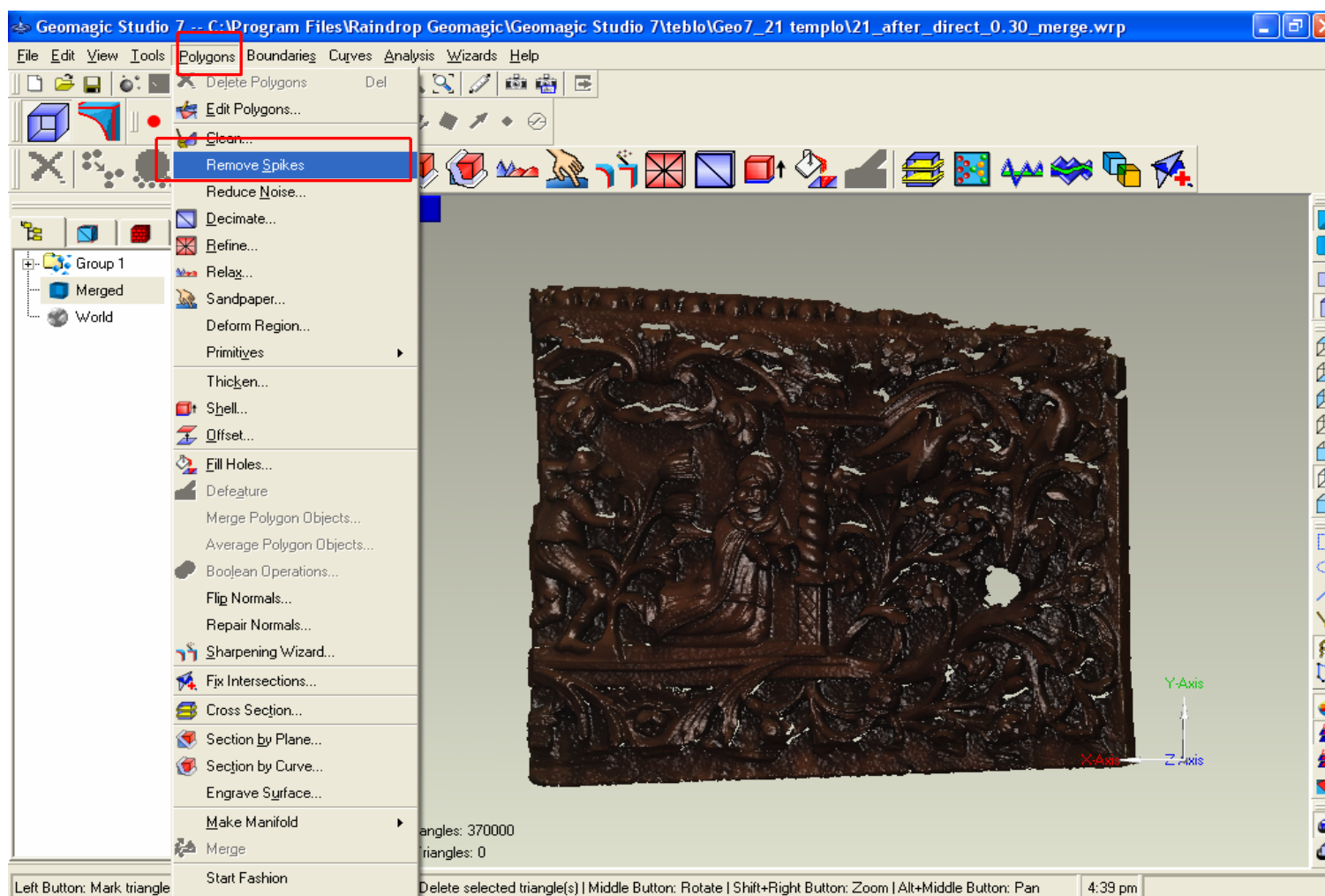
τη διάρκεια της τριγωνοποίησης του αντικειμένου κάποια τρίγωνα μπλέκονται με αποτέλεσμα να εισάγεται το ένα μέσα στο άλλο και να προκαλούνται ασυνέχειες. Με την εντολή αυτή το φαινόμενο μειώνεται αισθητά (Polygons→ Remove Spikes). Παρουσιάζουμε παρακάτω αυτές τις εντολές.



Εικόνα 5.45 Εντολή Open Manifold



Εικόνα 5.46 Εντολή Clean Polygons



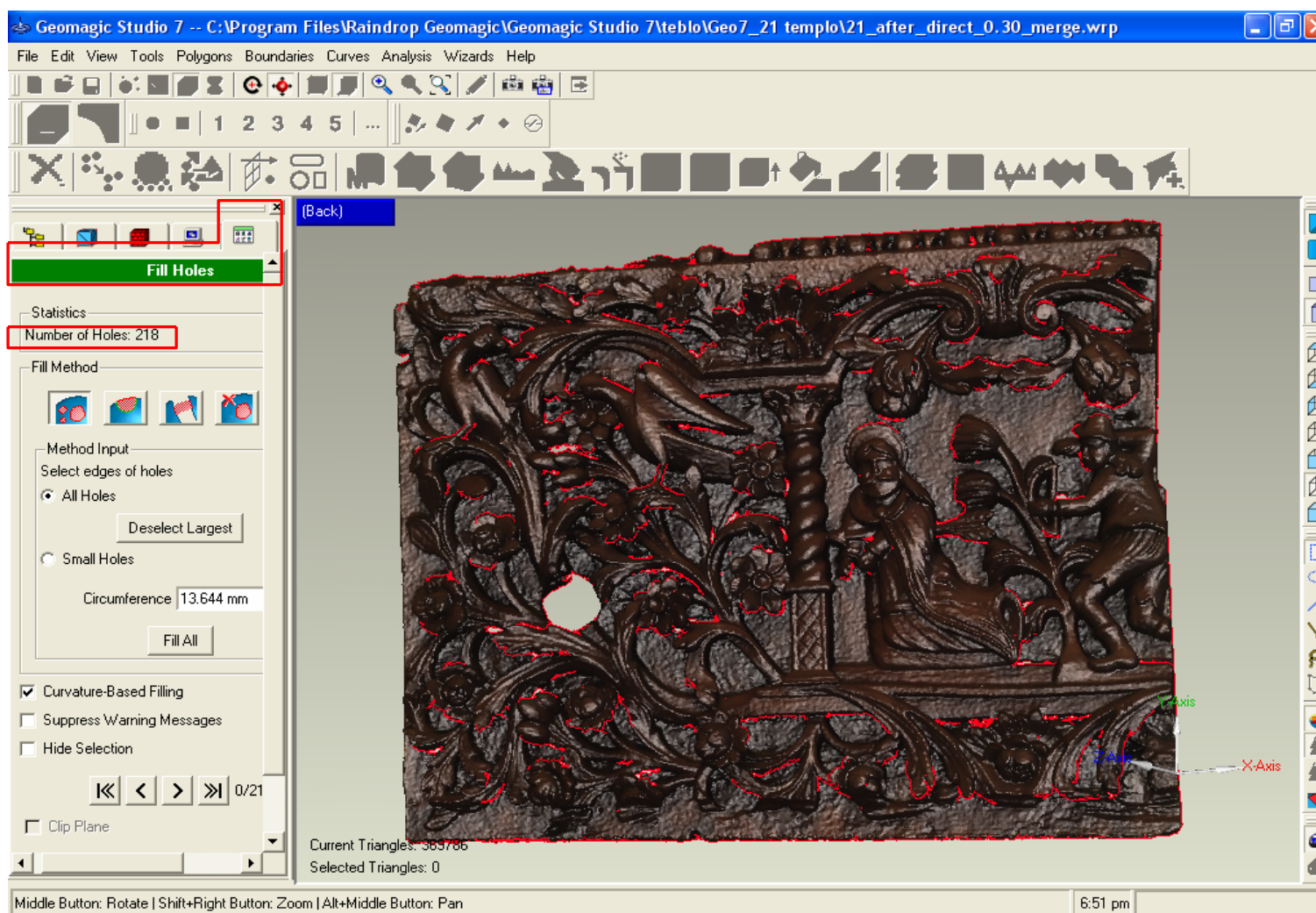
Εικόνα 5.47 Εντολή Remove Spikes

ii. Γέμισμα κενών και διόρθωση ασυνεχειών

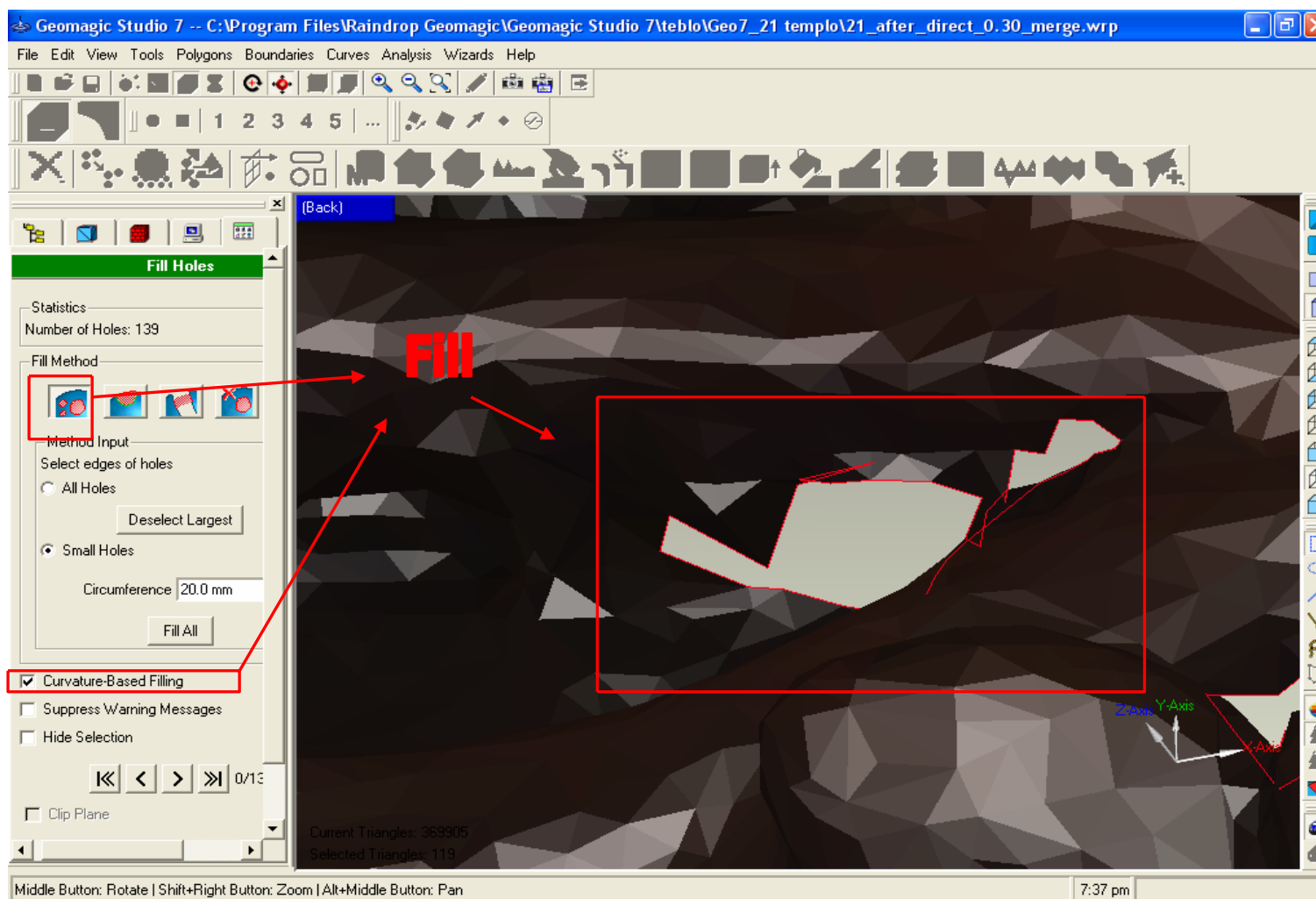
Στη συνέχεια προχωρούμε με το κλείσιμο των οπών. Το αντικείμενο μας εξαιτίας της πολυπλοκότητας της μορφής του παρουσιάζει πολλά κενά. Τα περισσότερα από αυτά συμπληρώθηκαν με χρήση της αυτόματης λειτουργίας του προγράμματος, με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι μεγάλες οπές καθώς και ασυνέχειες που παρουσιάζονταν στα όρια του αντικειμένου διορθώθηκαν manually. Πιο αναλυτικά, για το κλείσιμο των οπών έχουμε τις εξής δυνατότητες:

- Κλείσιμο οπής αυτόματα
- Κλείσιμο οπής μεταξύ ορίων (μερικό γέμισμα). Ορίζουμε την αρχή, το τέλος του ορίου και την επιφάνεια που θα γεμίσουμε
- Δημιουργία γέφυρας μεταξύ δύο επιφανειών
- Διαγραφή τριγώνων – ασυνεχειών

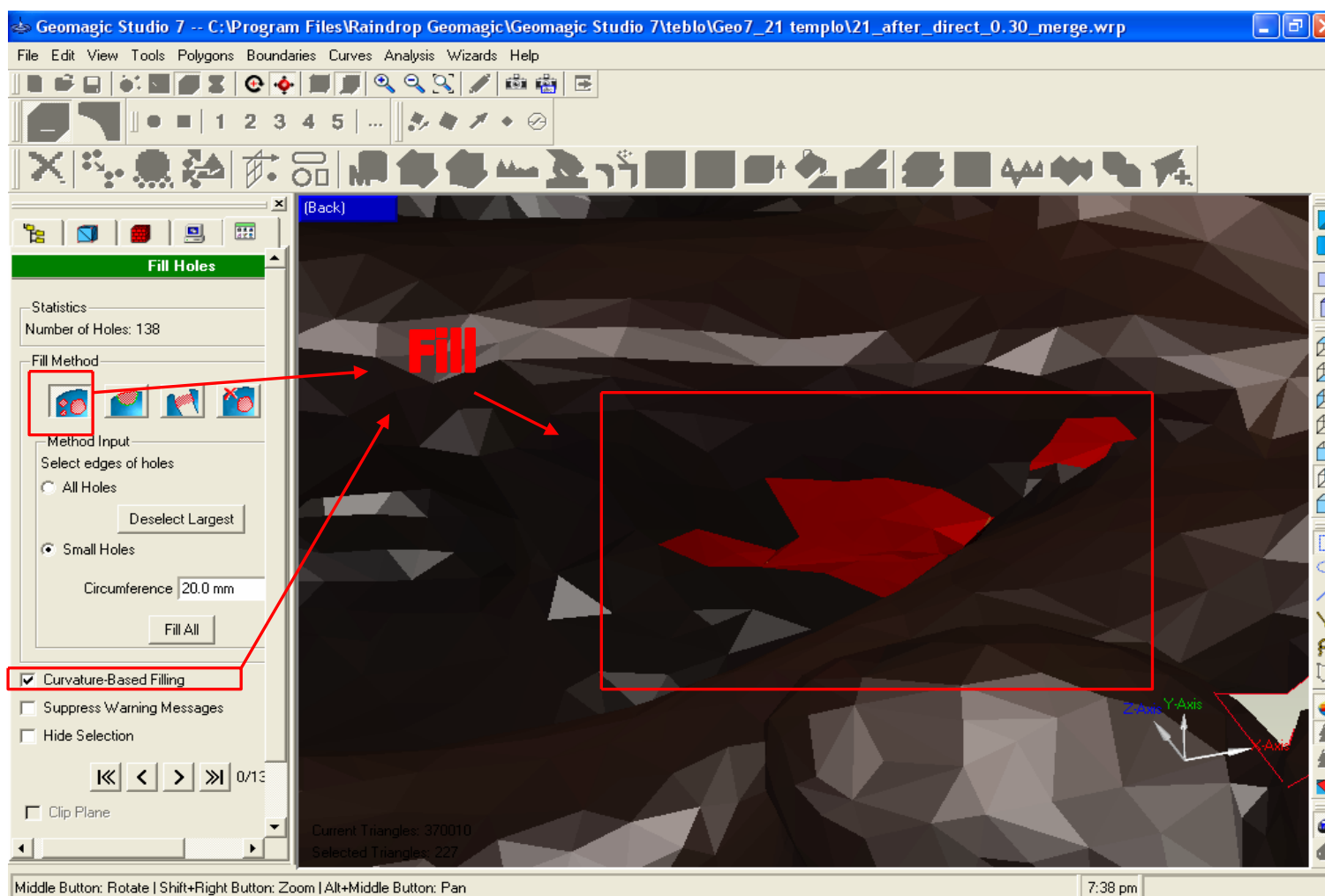
Στις παραπάνω περιπτώσεις κλεισίματος οπών έχουμε τη δυνατότητα επιλογής για επίπεδο γέμισμα ή καμπύλο γέμισμα. Ανάλογα με την περίπτωση και την επιφάνεια εφαρμόζουμε αυτό που μας επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα. Παρουσιάζουμε ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα για να γίνουν κατανοητά τα όσα περιγράφονται.



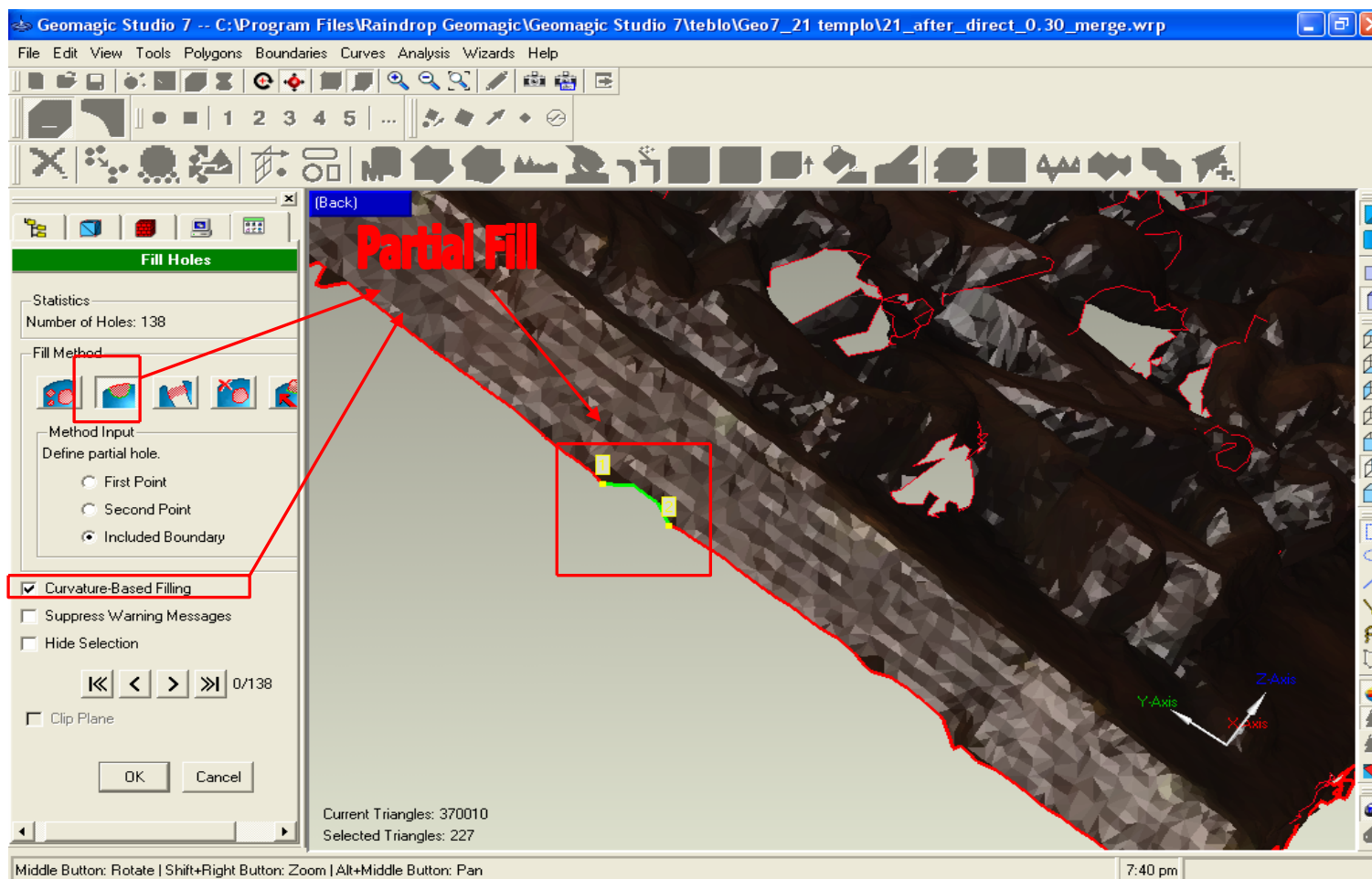
Εικόνα 5.48 Διαδικασία εύρεσης οπών στο αντικείμενο



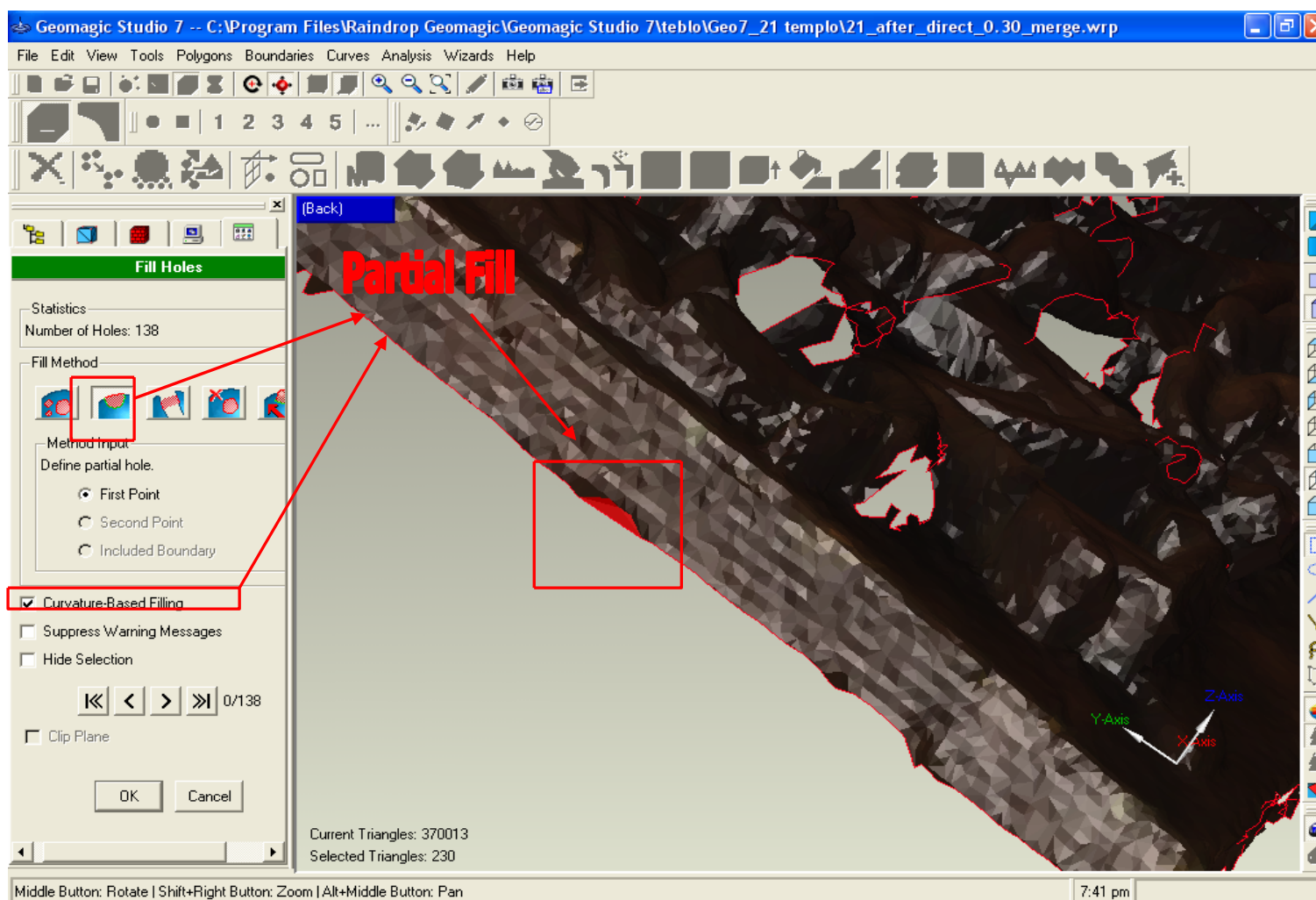
Εικόνα 5.49 Διαδικασία γεμίσματος οπών (Fill Holes)



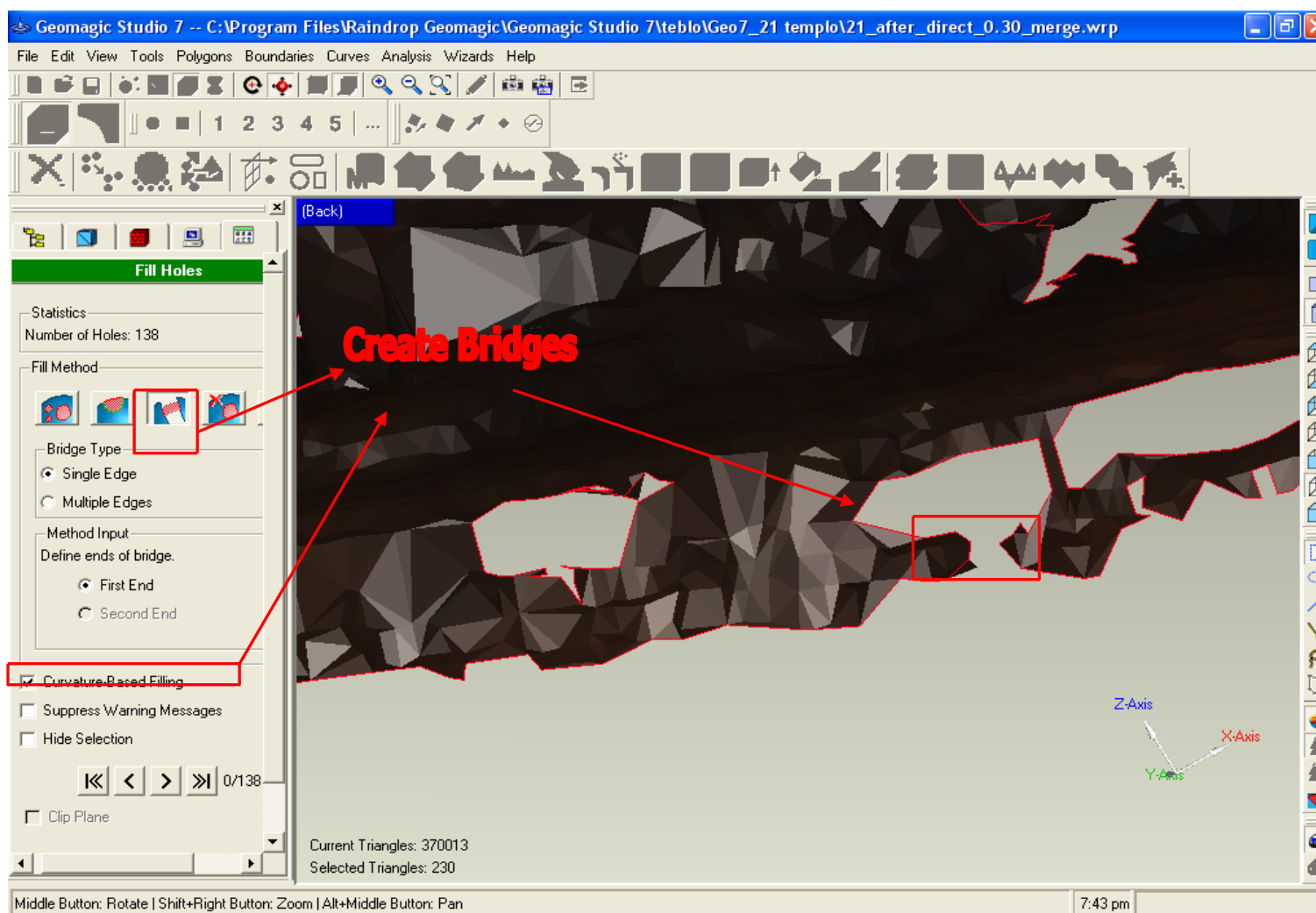
Εικόνα 5.50 Αποτέλεσμα γεμίσματος οπών (Fill Holes)



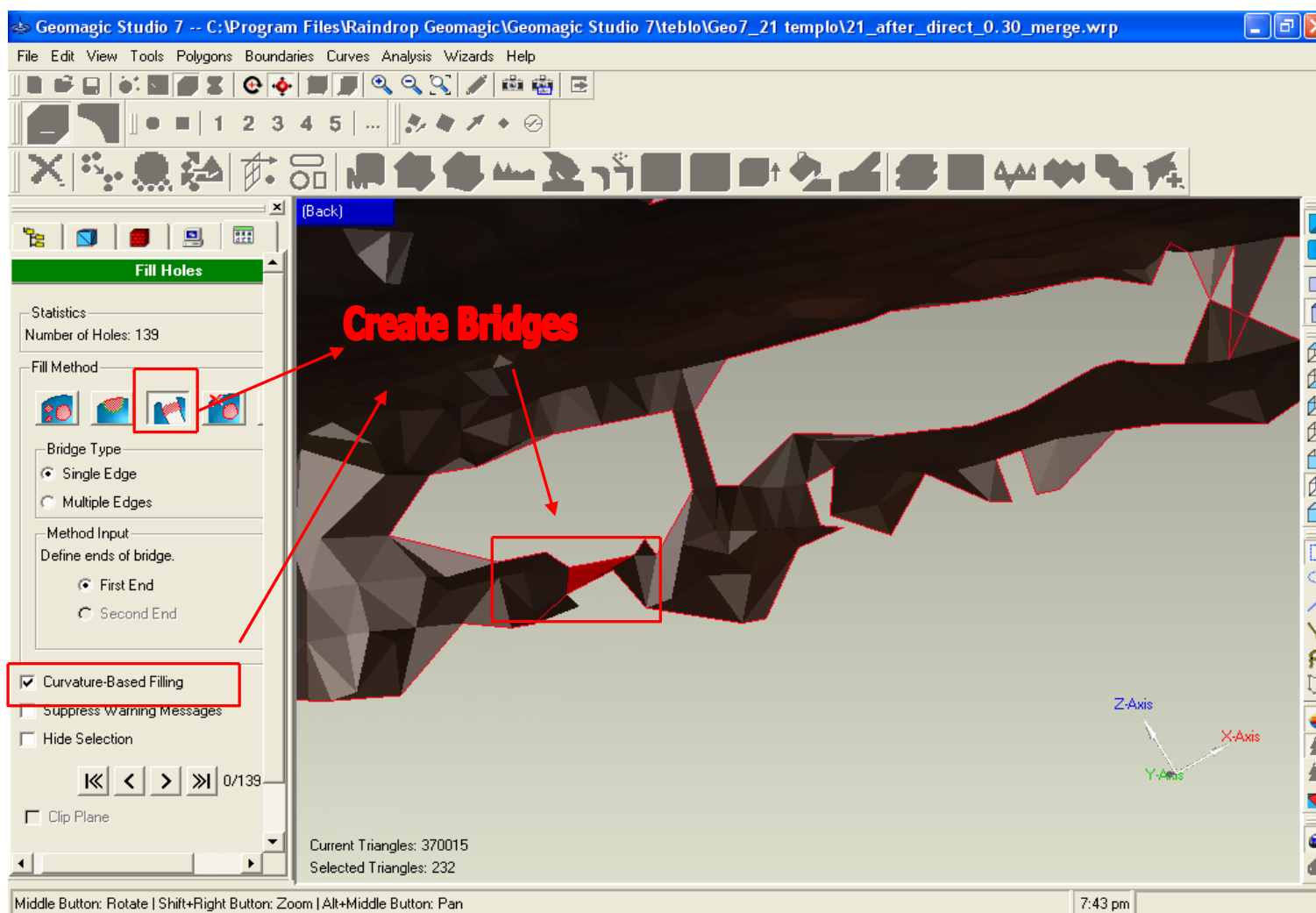
Εικόνα 5.51 Διαδικασία μερικού γεμίσματος οπών (Partial Fill)



Εικόνα 5.52 Αποτέλεσμα μερικού γεμίσματος οπών (Partial Fill)



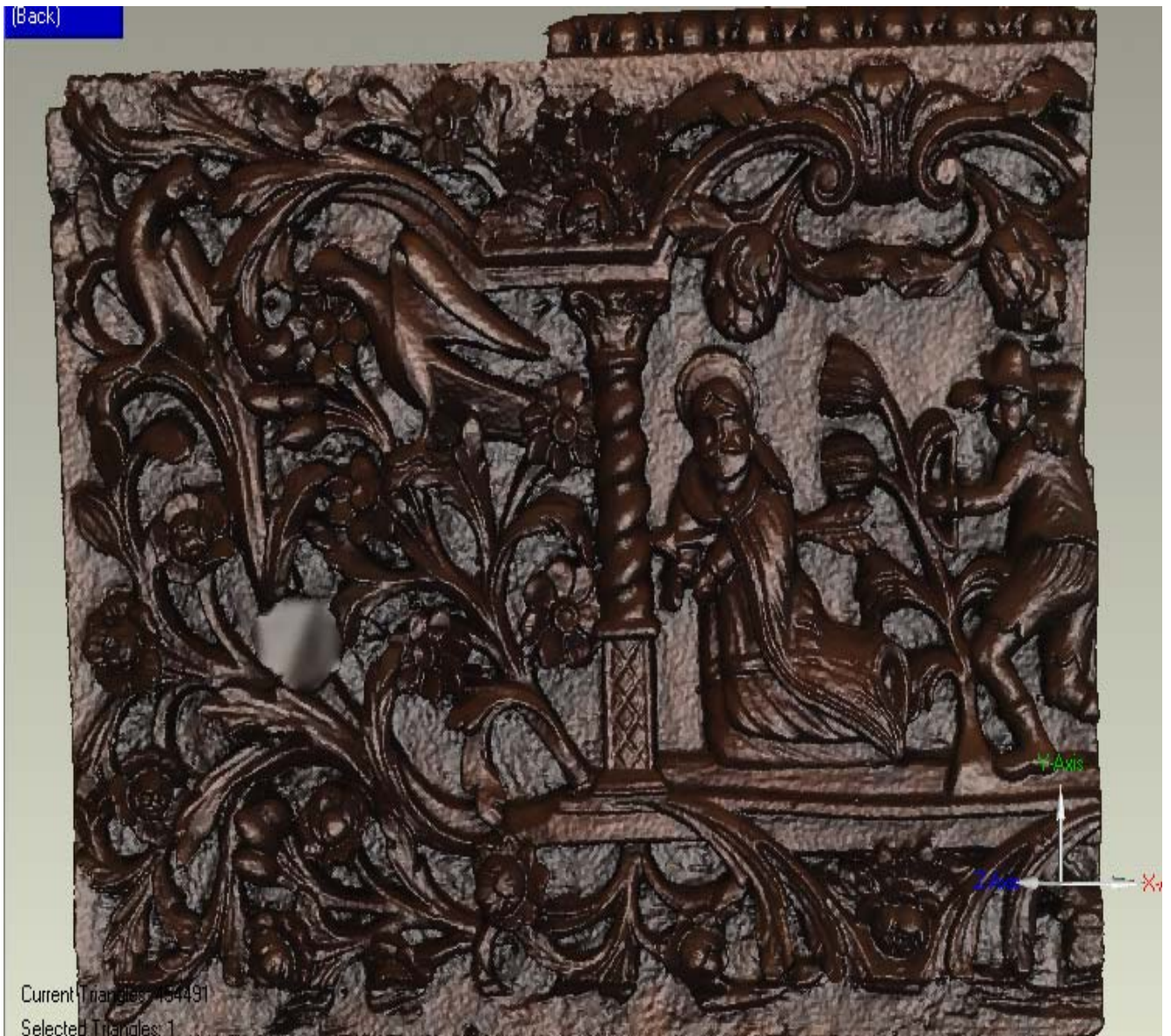
Εικόνα 5.53 Διαδικασία δημιουργίας γεφυρών (Create Bridges)



Εικόνα 5.54 Αποτέλεσμα δημιουργίας γεφυρών (Create Bridges)

iii. Έλεγχος για intersections και κλείσιμο της πίσω επιφάνειας του τέμπλου

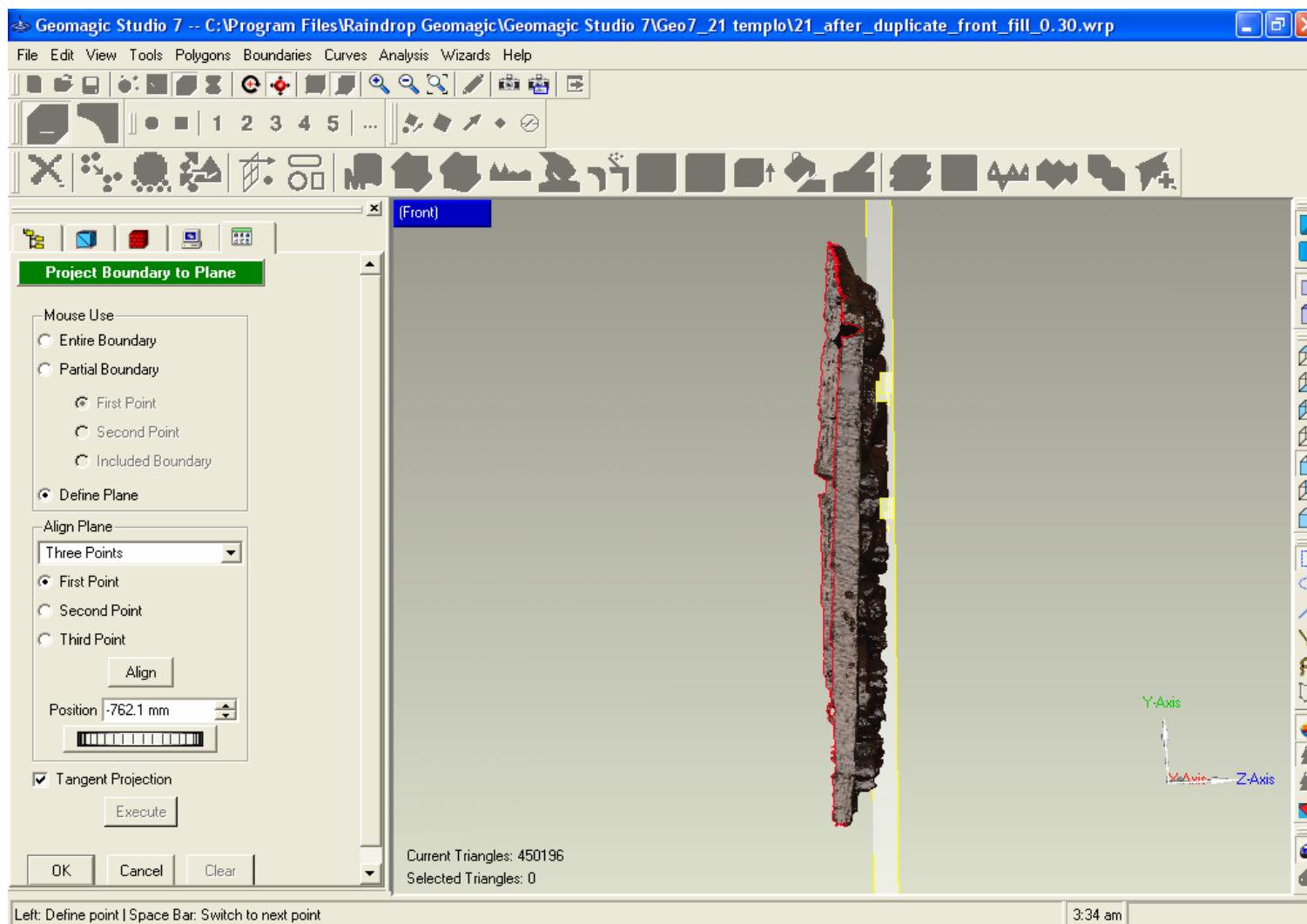
Έπειτα από το κλείσιμο όλων των οπών χρησιμοποιείται η εντολή Test Intersections. Με την εντολή αυτή ελέγχεται αν υπάρχουν τρίγωνα / πολύγωνα που βρίσκονται το ένα μέσα στο άλλο, διαπερνώντας με αυτό τον τρόπο και τις δυο επιφάνειες που σχηματίζουν τα τρίγωνα. Στα σημεία αυτά υπάρχουν ασυνέχειες και αν δεν διορθωθούν, το πρόγραμμα δεν μπορεί να θεωρήσει το αντικείμενό μας ως μια κλειστή επιφάνεια. Τα σημεία όπου υπάρχουν τέτοια τρίγωνα μαρκάρονται με κόκκινο χρώμα στο μοντέλο και πρέπει να διορθωθούν. Αυτό γίνεται είτε ακολουθώντας την προηγούμενη διαδικασία με το γέμισμα των οπών (διαγράφουμε τα τρίγωνα που δημιουργούν πρόβλημα και γεμίζουμε πάλι την οπή), είτε με την αυτόματη εντολή Fix Intersections. Οφείλουμε να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι η εντολή Fix Intersections, ειδικά σε σημεία με δύσκολη γεωμετρία, μπορεί να έχει υπερβολικά άσχημα αποτελέσματα. Ο καλύτερος τρόπος είναι με manual χειρισμούς. Ούτως ή άλλως, τις περισσότερες φορές υπάρχει αδυναμία από τους αλγόριθμους του προγράμματος να διορθώσουν αυτόματα το πρόβλημα και μας παραπέμπουν σε manual χειρισμούς. Έπειτα από αυτές τις διαδικασίες και τη διόρθωση της επιφάνειας του αντικειμένου από τα intersections, η μπροστινή επιφάνεια του αντικειμένου μας γίνεται ως εξής:



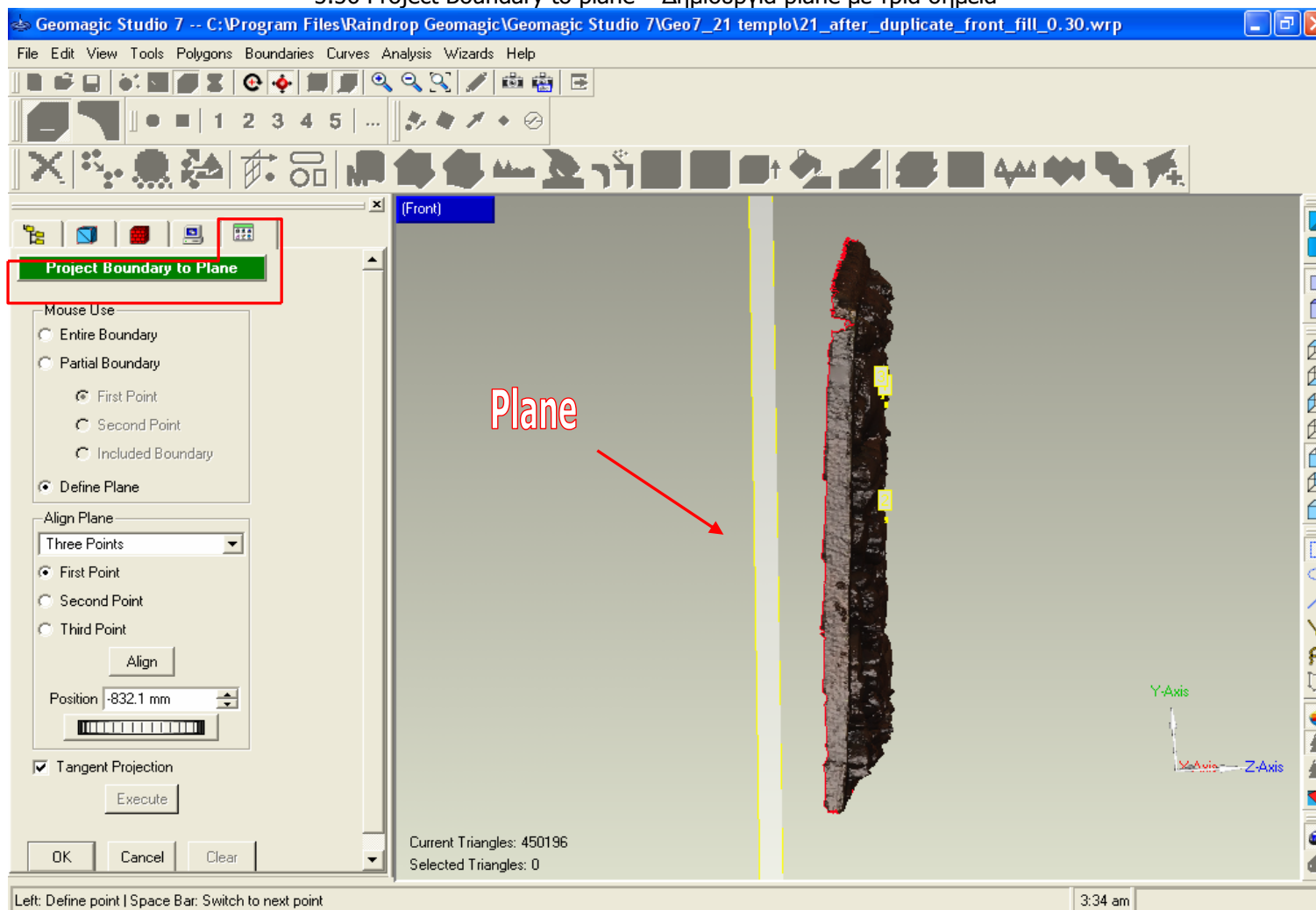
5.55 Μορφή αντικειμένου μετά το κλείσιμο των οπών

Παρόλα αυτά παραμένει το πίσω τμήμα του αντικειμένου το οποίο είναι ανοιχτό και πρέπει να κλείσουμε. Με βάση τις δυνατότητες του προγράμματος, κάνουμε τα εξής: εκτελούμε την εντολή *project boundaries to plane* (*Boundaries*→ *Project Boundaries to Plane*). Δημιουργούμε μια *plane* στο πίσω τμήμα του αντικειμένου, παράλληλη της μπροστινής του επιφάνειας και εκτελούμε την εντολή. Παρατηρούμε τότε ότι τα όρια του αντικειμένου έχουν προβληθεί κάθετα στην πάνω στην *plane* που έχουμε δημιουργήσει. Στην συνέχεια, εκτελούμε την εντολή *Section by plane* (*Polygons*→ *Section by Plane*). Με την εντολή αυτή, παρεμβάλλουμε την *plane* που έχουμε δημιουργήσει όσο το δυνατό πιο κοντά στο πίσω τμήμα του αντικειμένου και

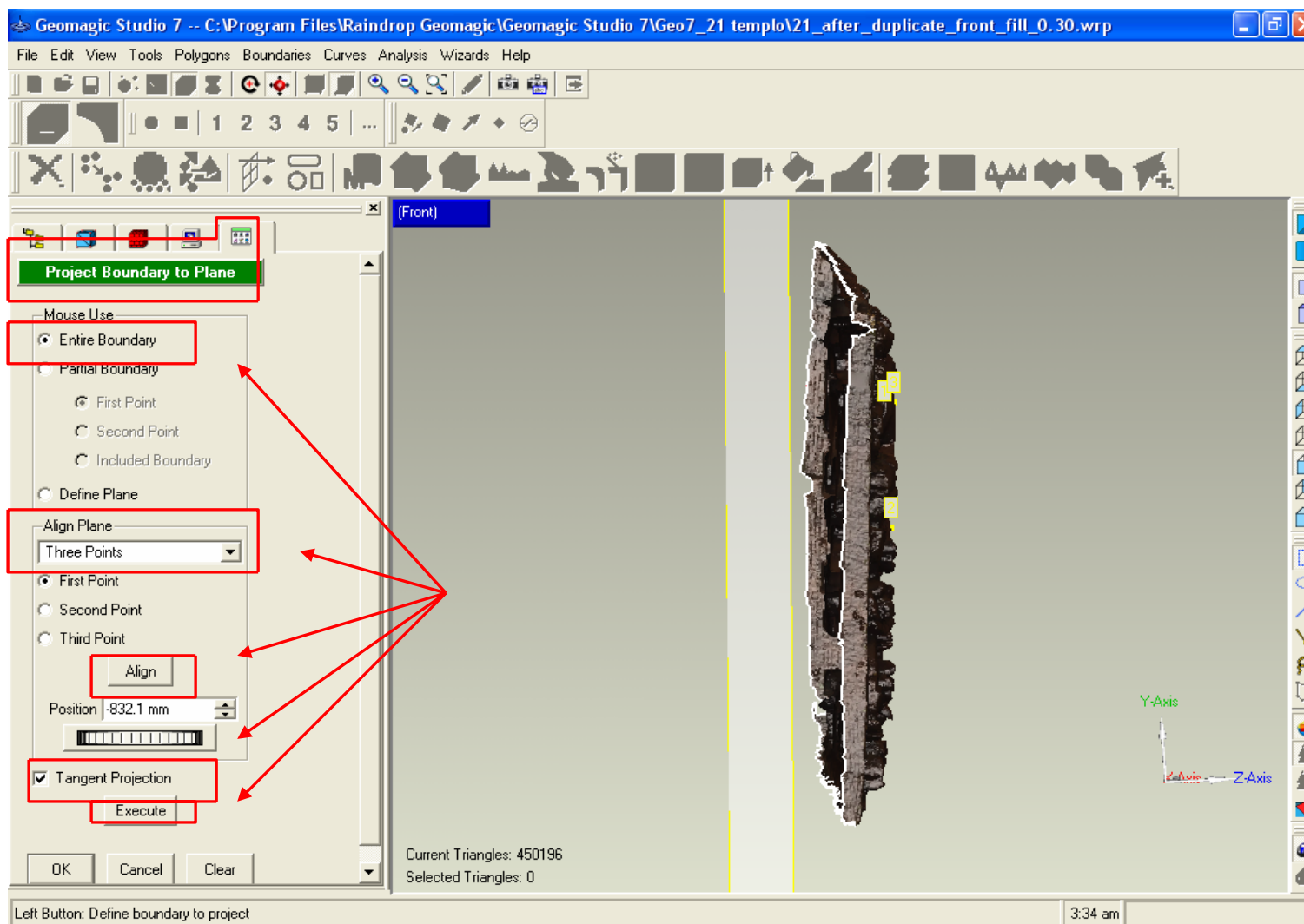
επιλέγουμε το intersect→ delete intersection. Τότε διαγράφεται το περιττό τμήμα του ορίου που είχαμε δημιουργήσει με την προηγούμενη εντολή. Επιλέγοντας στη συνέχεια Close intersection, το πίσω τμήμα του τέμπλου κλείνεται αυτόματα από μια επιφάνεια και τελικά καταλήγουμε στη ζητούμενη μορφή που αναζητούσαμε από την αρχή.



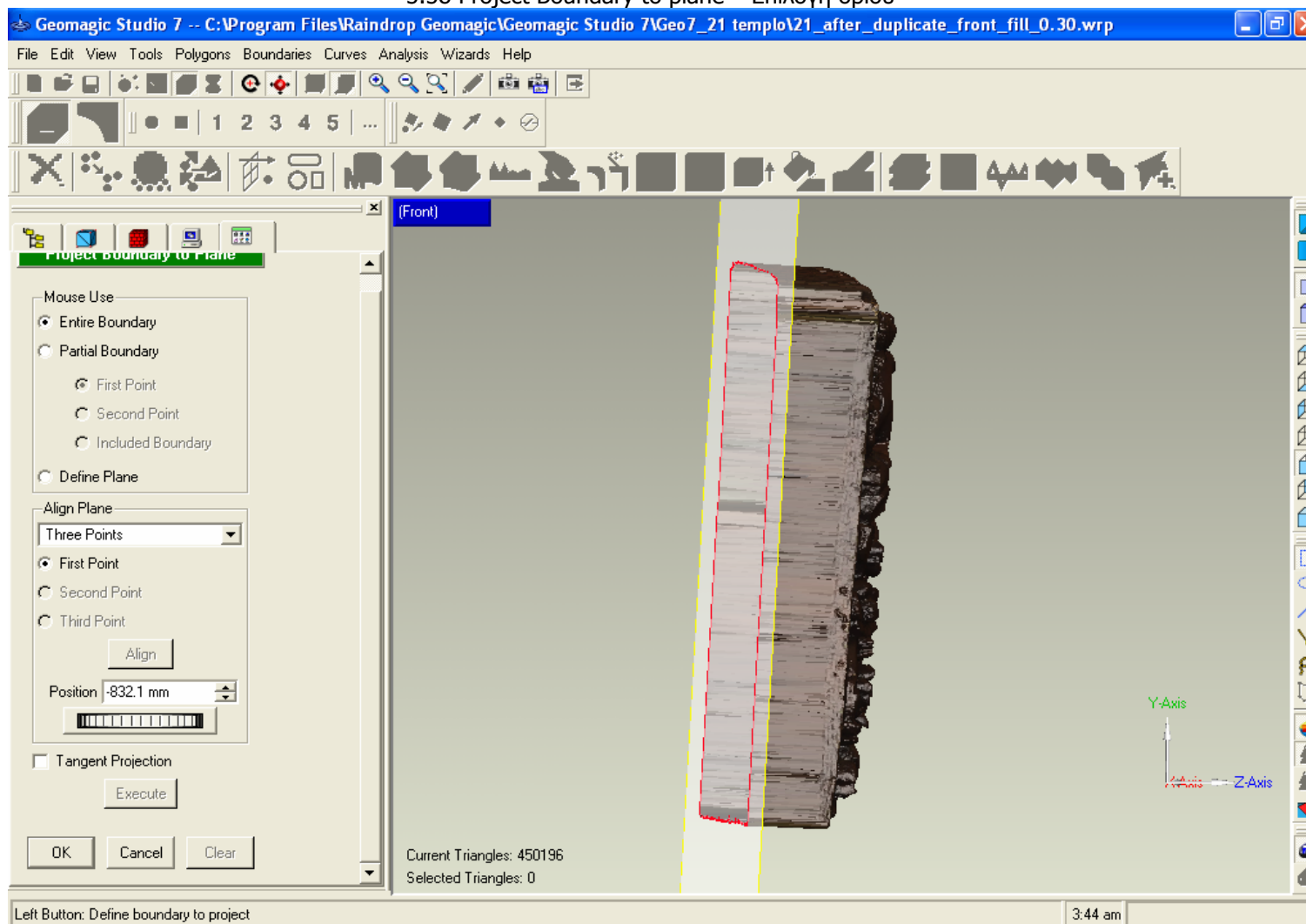
5.56 Project Boundary to plane – Δημιουργία plane με τρία σημεία



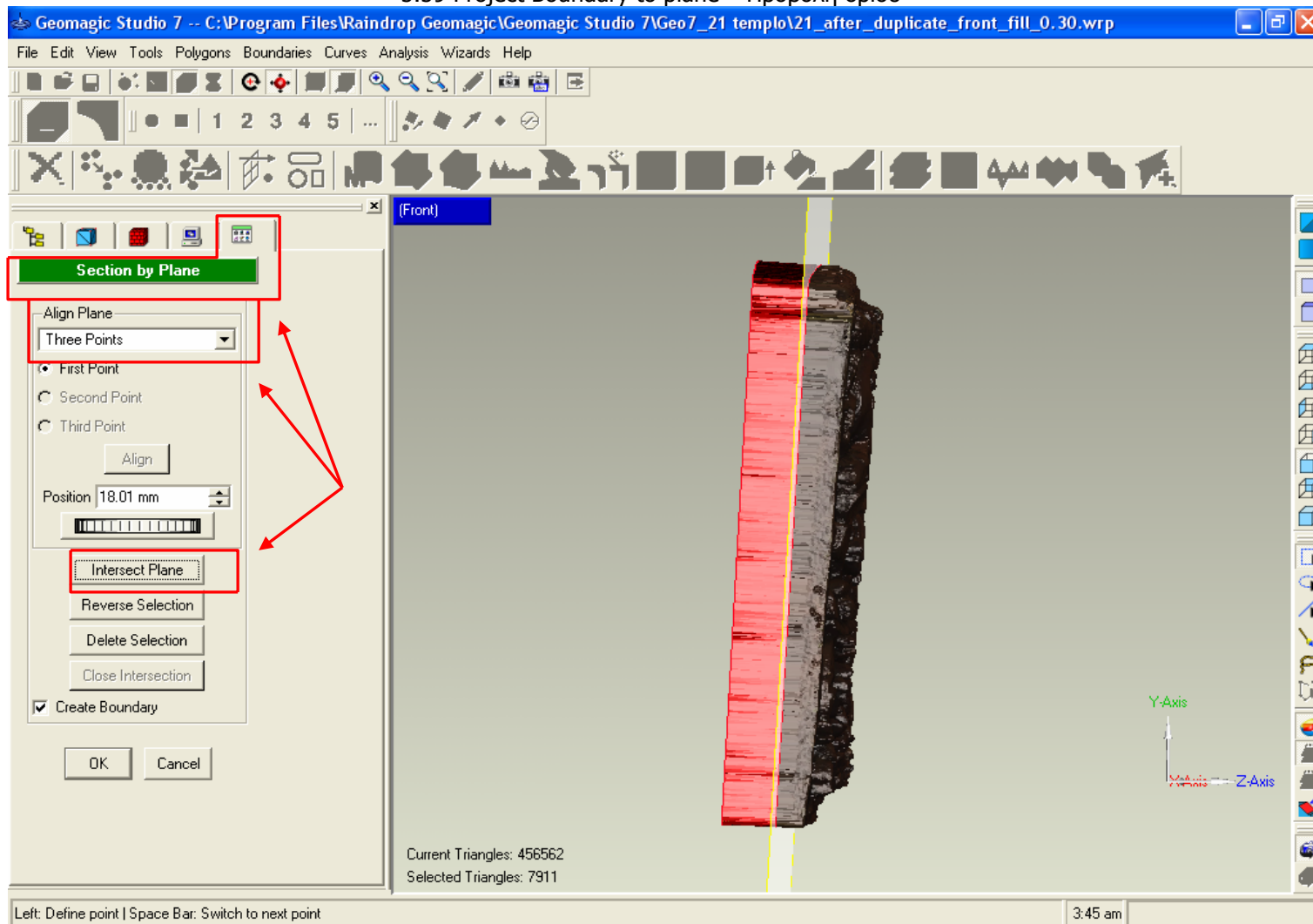
5.57 Project Boundary to plane – Τοποθέτηση της plane σε επιθυμητό σημείο



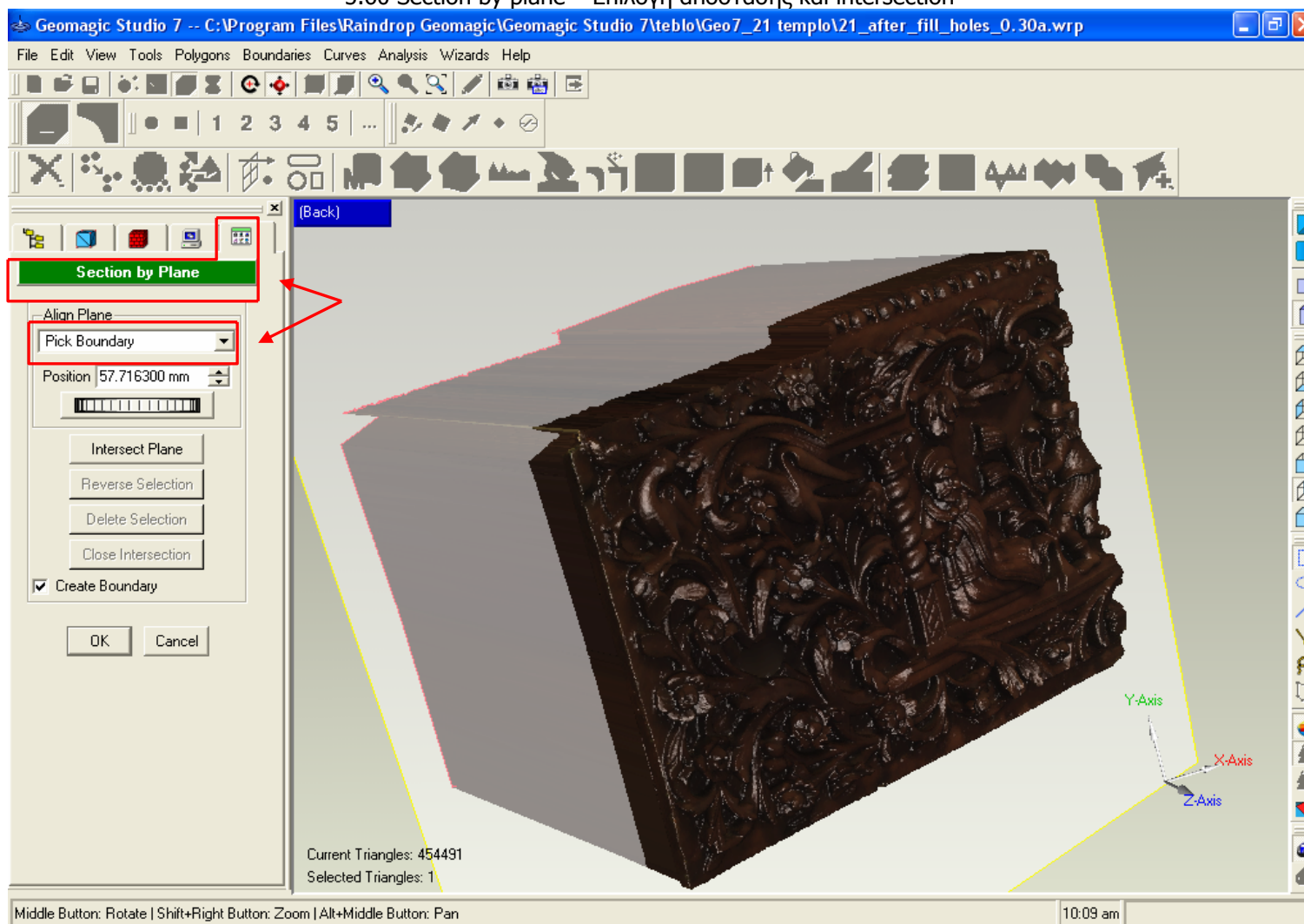
5.58 Project Boundary to plane – Επιλογή ορίου



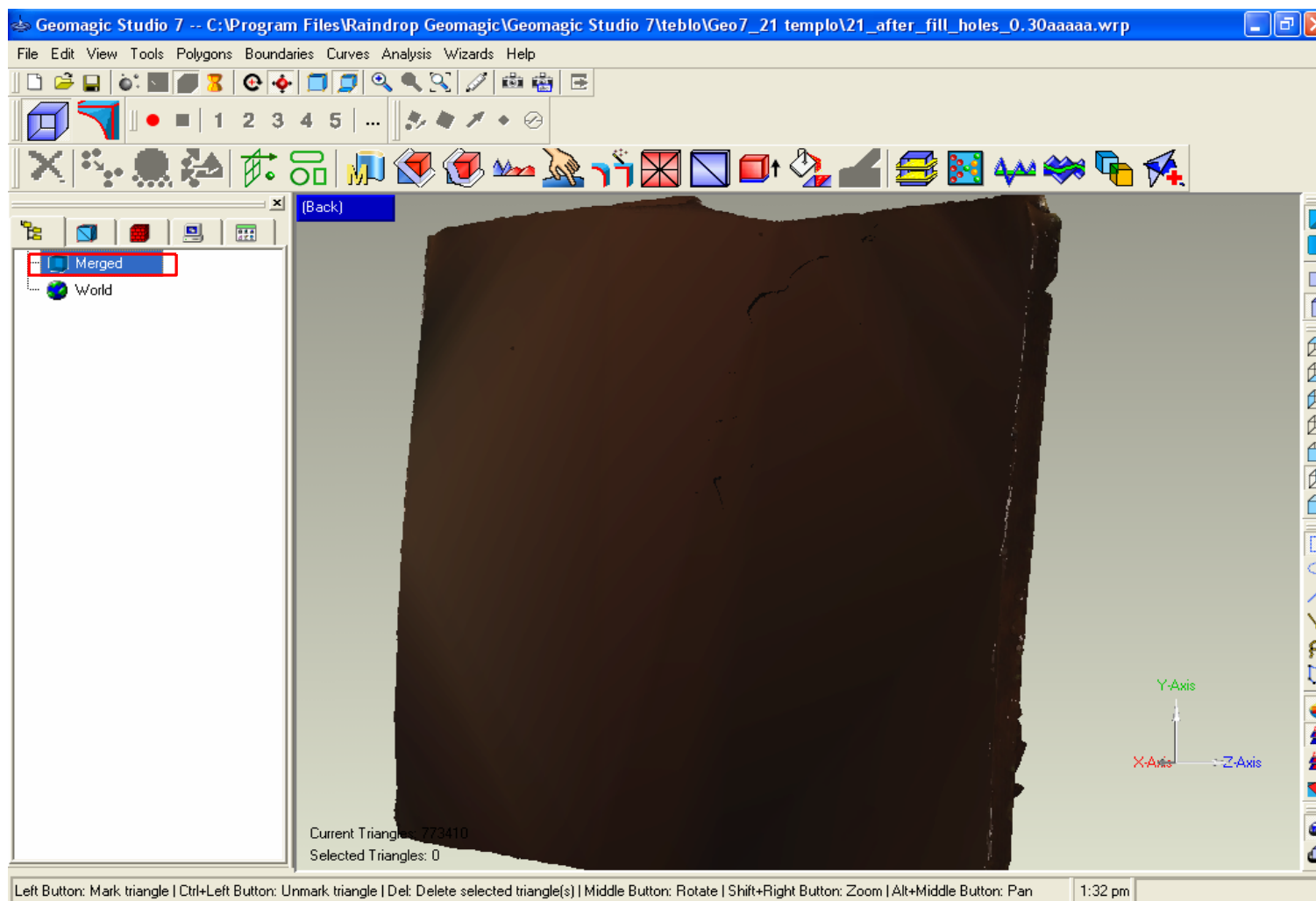
5.59 Project Boundary to plane – Προβολή ορίου



5.60 Section by plane – Επιλογή απόστασης και intersection



5.61 Section by plane – Delete intersection και δημιουργία ορίου



5.62 Τελική μορφή πίσω ορίου – Κλειστή επιφάνεια

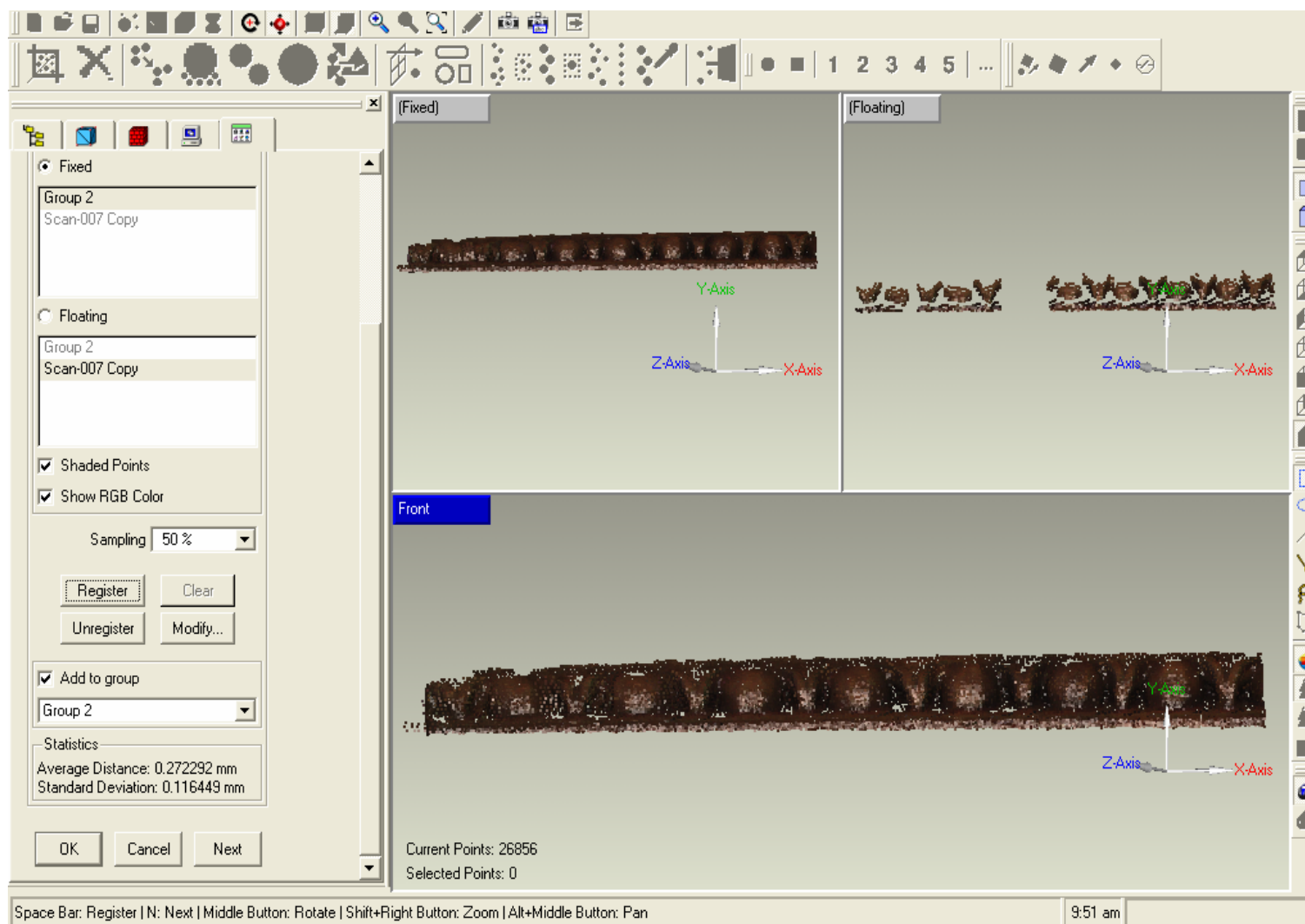
Έπειτα λοιπόν από όλα τα παραπάνω έχουμε καταλήξει σε μια κλειστή επιφάνεια αντικειμένου, απαλλαγμένη από το θόρυβο χωρίς τρύπες. Μπορούμε τώρα να εξάγουμε το αρχείο που επιθυμούσαμε από την αρχή (μορφή binary *.stl). Για να το κάνουμε αυτό πηγαίνουμε στο File→ Save as→ STL binary file.

iv) Αναδημιουργία διακοσμητικού τμήματος του τέμπλου

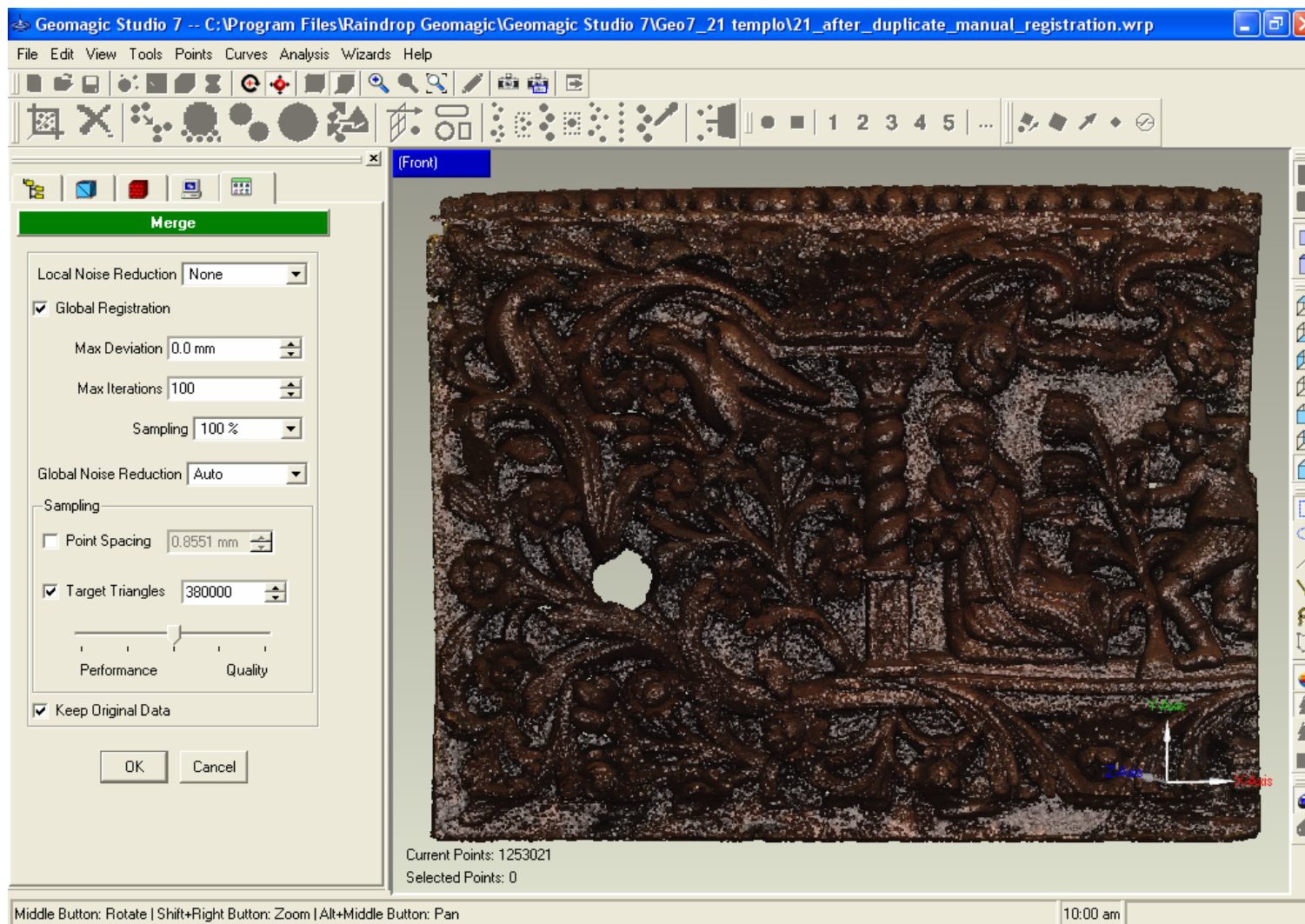
Παρατηρώντας το αρχικό μας αντικείμενο (ή την τελική επιφάνεια του αντικειμένου που καταλήξαμε), παρατηρούμε ότι το πάνω αριστερό τμήμα του, που αποτελεί ένα είδος διακόσμησης του τέμπλου, δεν έχει σαρωθεί από την κάμερα. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πολλούς λόγους, ακόμα και σε μια απλή ανάκλαση του φωτός. Θα μπορούσε όμως να αποτελεί και τμήμα του αντικείμενου όπου για κάποιο λόγο είχε καταστραφεί. Άλλωστε ποικίλες είναι οι περιπτώσεις όπου ξυλόγλυπτα τέμπλα ή και πολλά άλλα αντικείμενα τέχνης έχουν φθορές και τμήματα κατεστραμμένα. Σε μια προσπάθεια να εξερευνήσω τις δυνατότητες του προγράμματος και να προσπαθήσω να ανάγω το πρόβλημα σε κάποιο πραγματικό πρόβλημα που μπορεί να συναντήσουν άλλοι ερευνητές στον τομέα αυτό, προσπάθησα να αναπαράγω το τμήμα που έλειπε.

Καταρχήν επέλεξα το τμήμα του διακοσμητικού κομματιού που είχαμε διαθέσιμο. Χρησιμοποιώντας την εντολή Duplicate αναπαρήγαγα το συμμετρικό κομμάτι της επιφάνειας που έλειπε ενώ ήταν ακόμα σε μορφή νέφους σημείων. Στην συνέχεια εφάρμοσα όλες τις παραπάνω εντολές ξεκινώντας ουσιαστικά από την ευθυγράμμιση των σαρώσεων του τμήματος αυτού και κατά την πολυγωνοποίηση του αντικειμένου, το τμήμα αυτό ενσωματώθηκε με το υπόλοιπο αντικείμενο (τα ίδια αποτελέσματα είχαμε και δοκιμάζοντας την ευθυγράμμιση του αναπαρηγμένου τεμαχίου με το υπόλοιπο αντικείμενο). Έτσι τελικά κατέληξα στην δημιουργία ενός πιο ολοκληρωμένου μοντέλου από πλευράς οπτικής απεικόνισής του. Παρουσιάζω ενδεικτικά κάποια από τα βήματα μέχρι να φτάσω στην νέα βελτιωμένη μορφή του. Τελικός συνολικός αριθμός τριγώνων 590.000 που αντιστοιχεί περίπου στο

30% της αρχικής ποσότητας του νέφους σημείων όλων των σαρώσεων και του κομματιού που αναπαράγαμε.

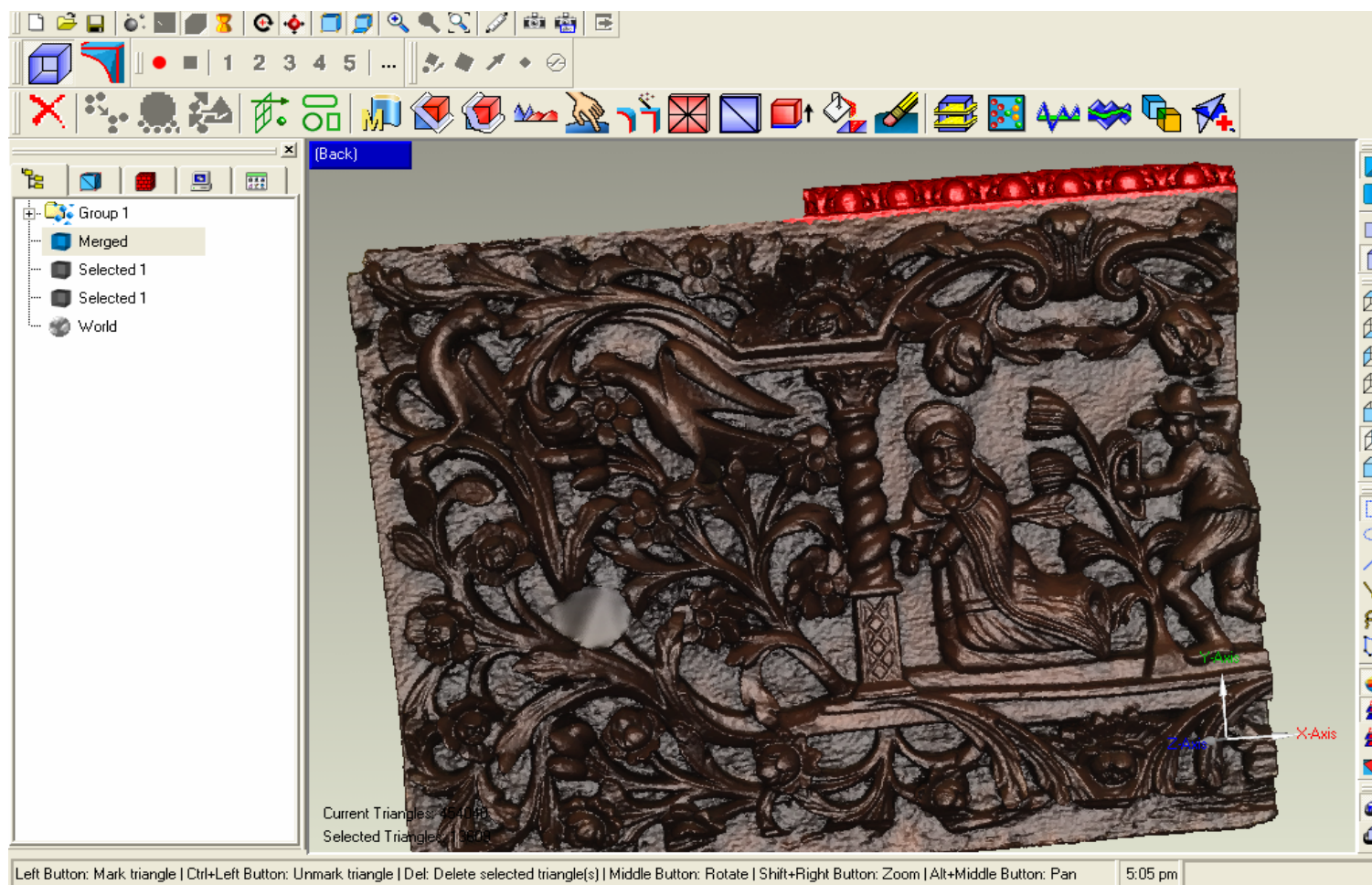


5.63 Manual registration του αντιγραφμένου τμήματος

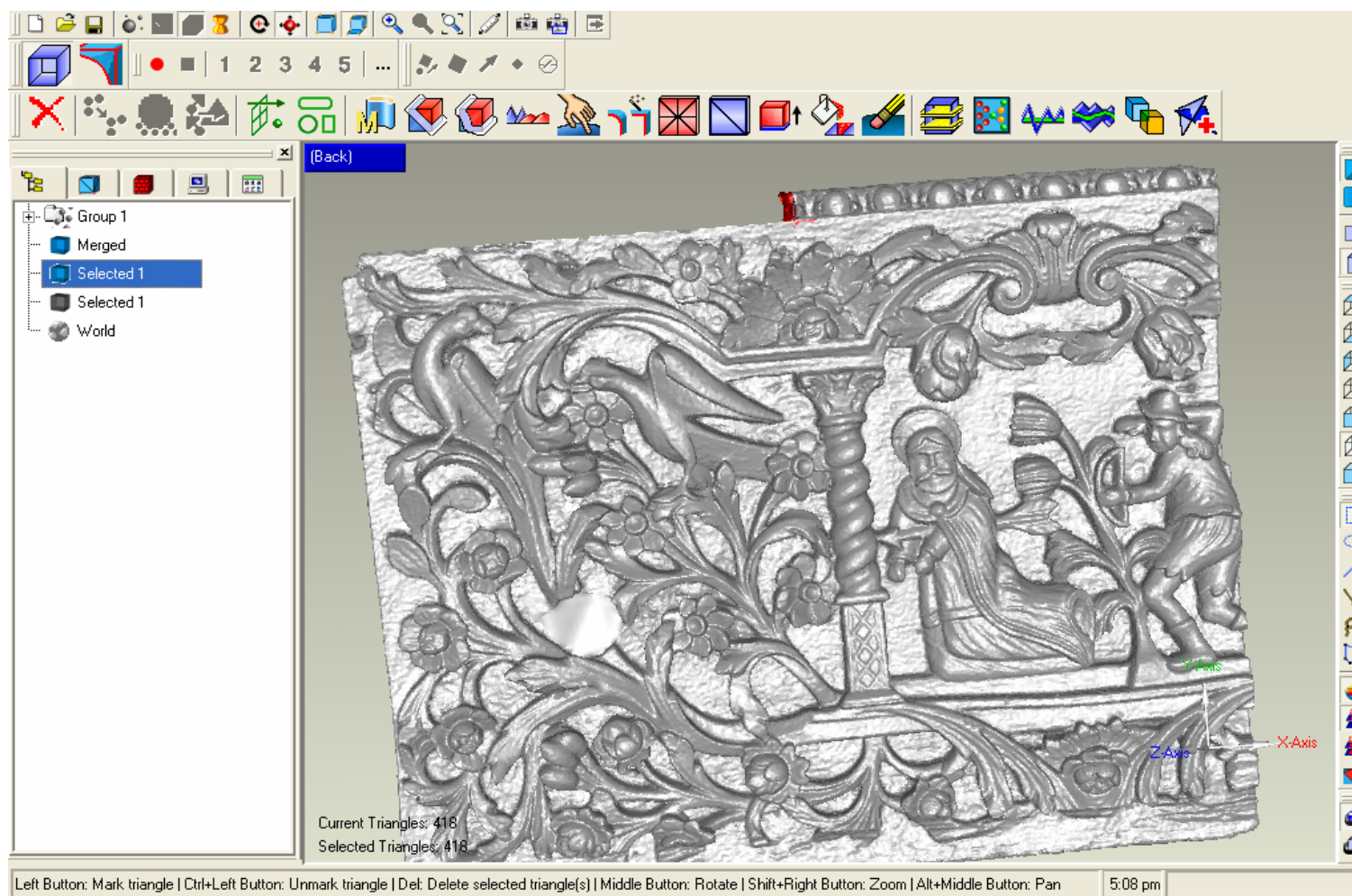


5.64 Μορφή αντικειμένου πριν την διαδικασία merge

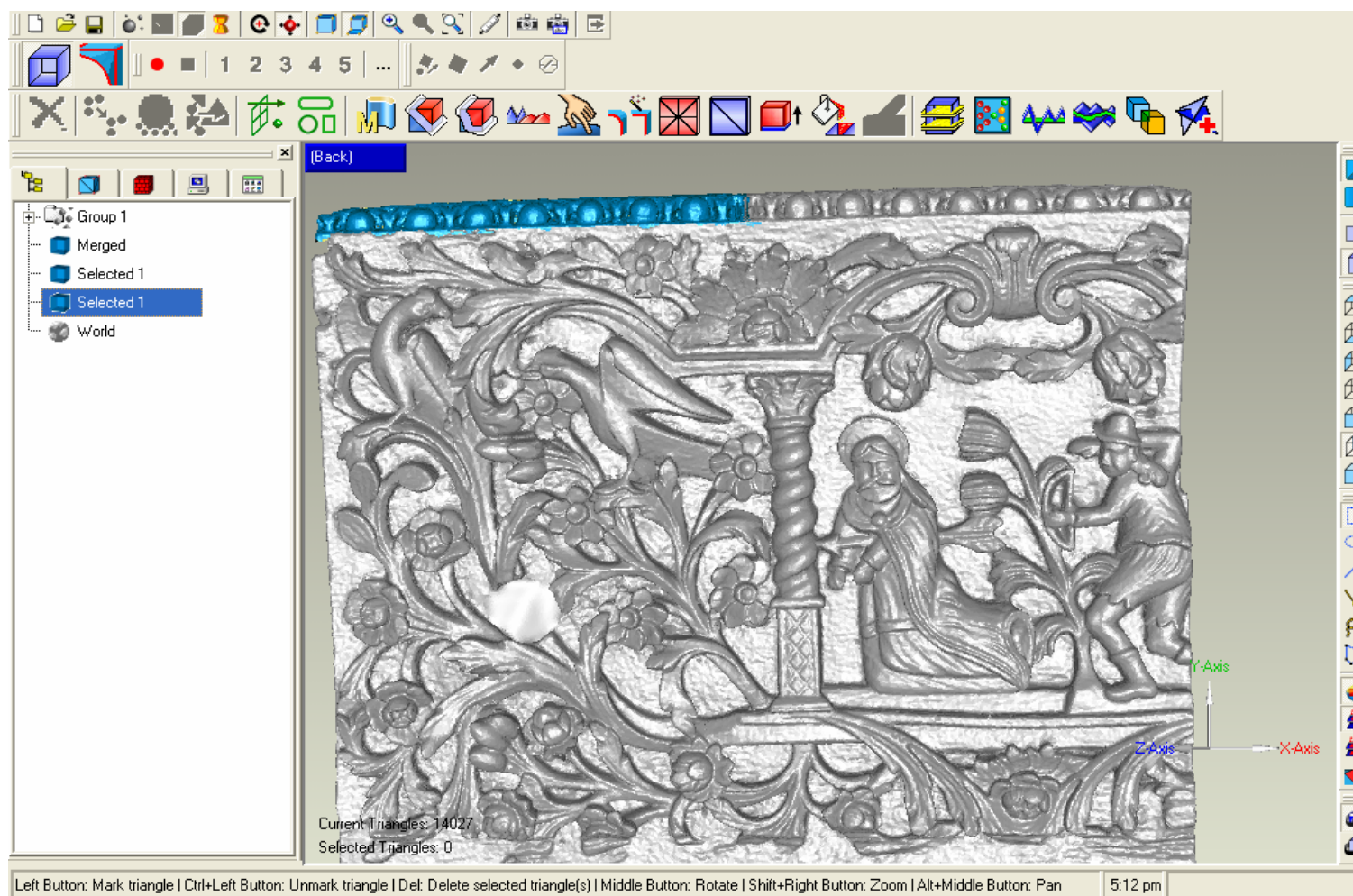




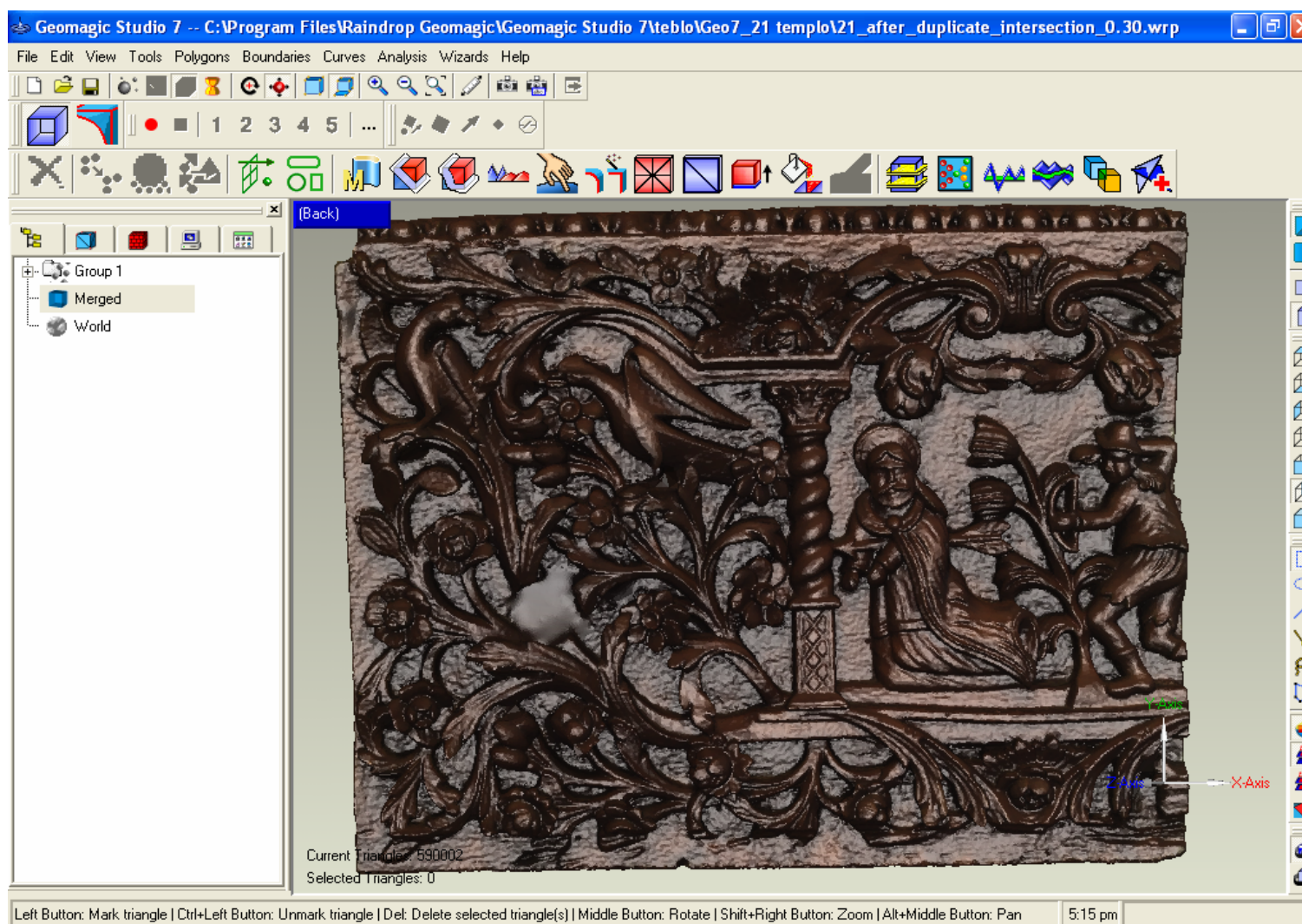
5.66 Μορφή αντικειμένου μετά την διαδικασία Fill Holes – Επιλεγμένο το σαρωμένο τμήμα της διακόσμησης του τέμπλου



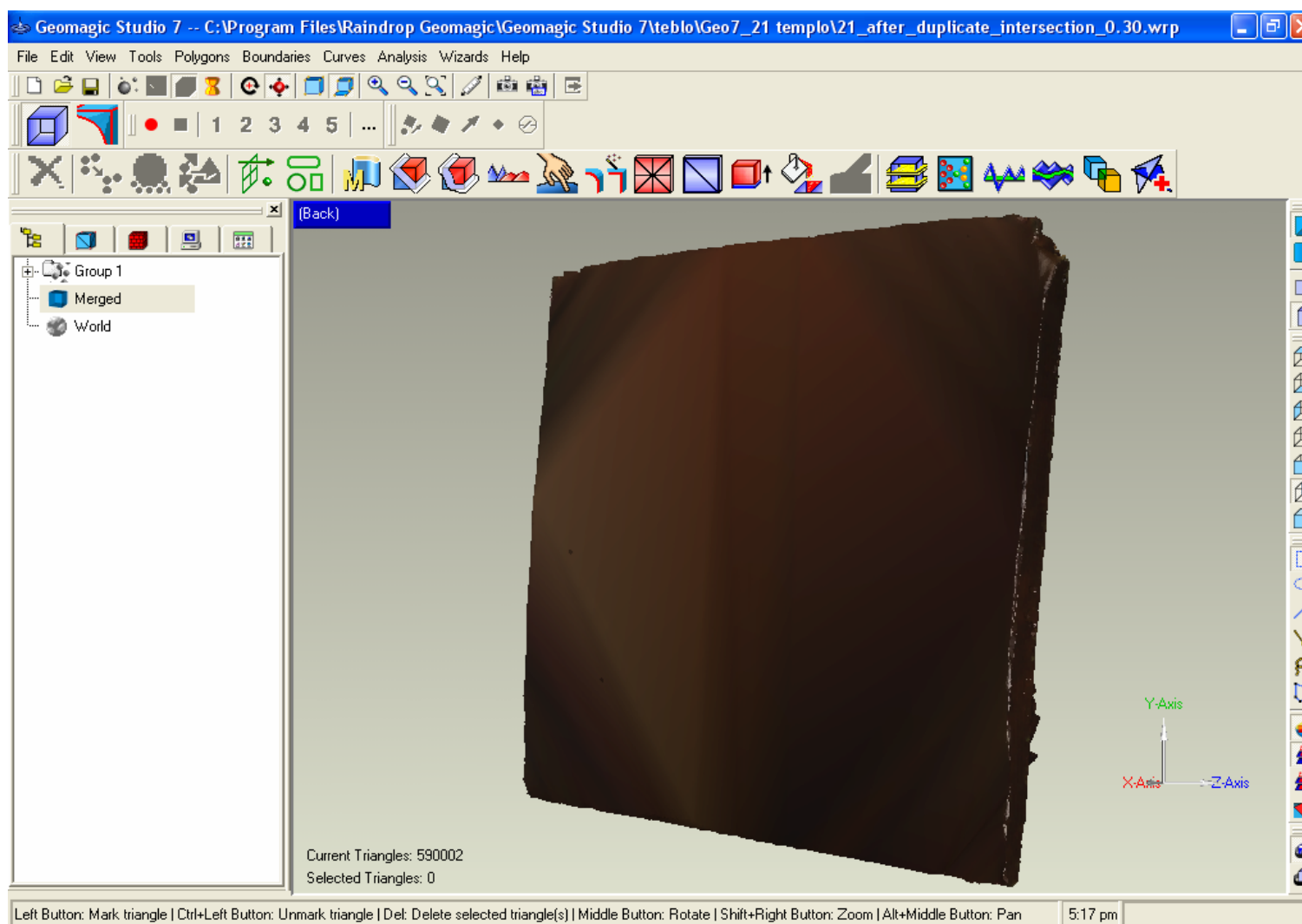
5.67 Μορφή αντικειμένου μετά την διαδικασία Fill Holes – Επιλεγμένο το πρώτο κομμάτι που αναπαράχθηκε με το πρόγραμμα



5.68 Μορφή αντικειμένου μετά την διαδικασία Fill Holes – Επιλεγμένο το δεύτερο κομμάτι που αναπαράχθηκε με το πρόγραμμα



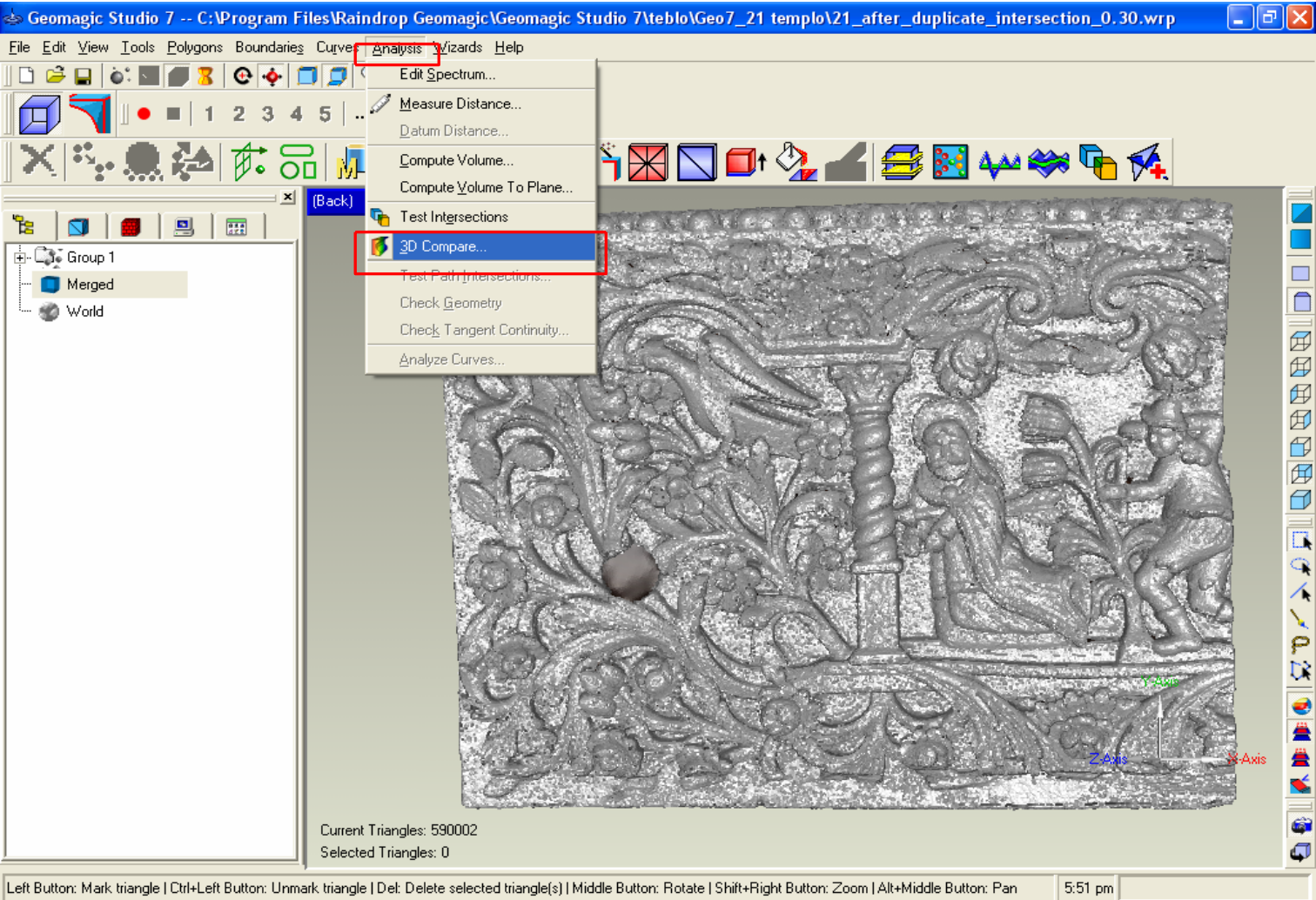
5.69 Τελική μορφή αντικειμένου



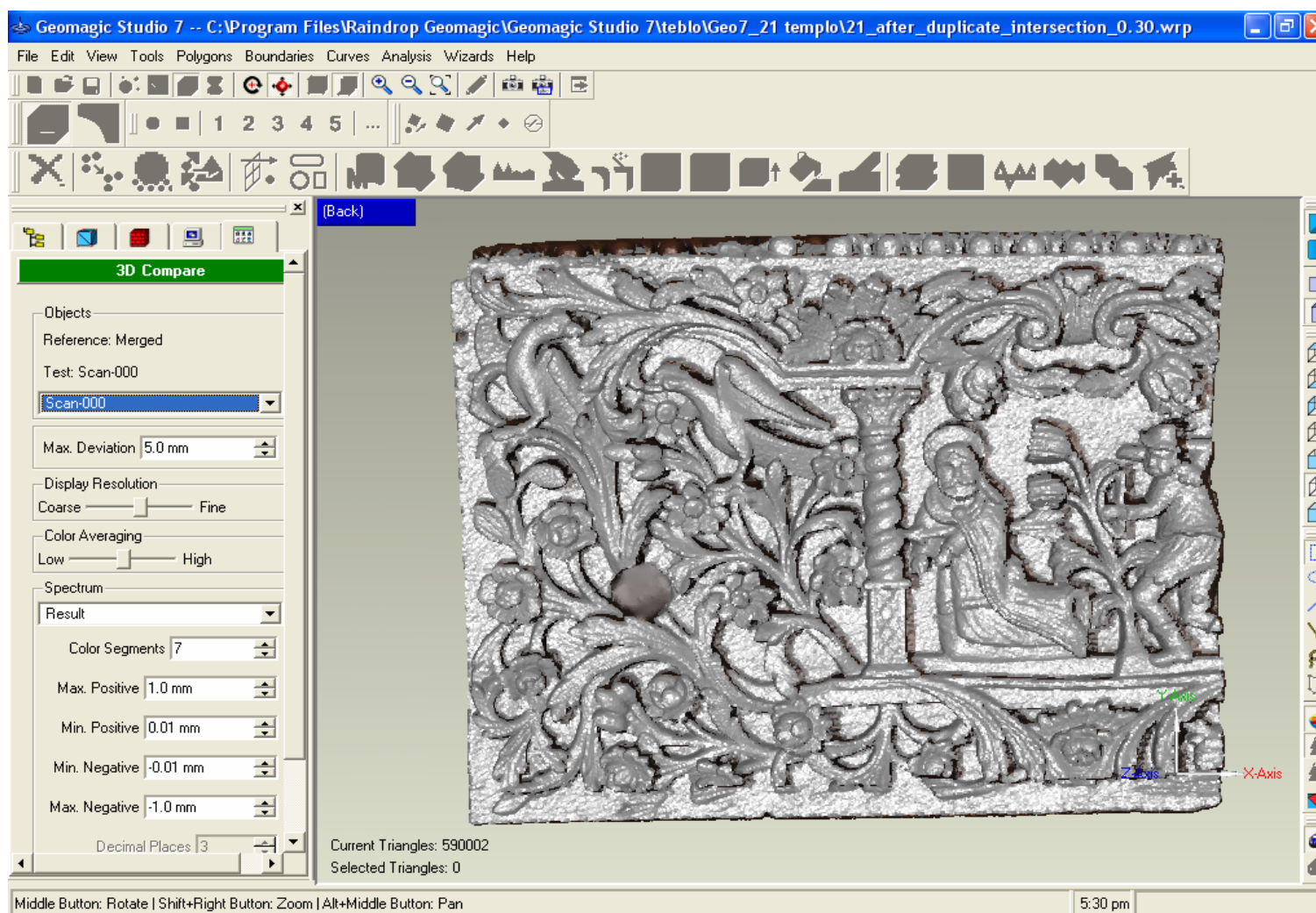
5.70 Τελική μορφή αντικειμένου

c) Τελική μορφή.i. Διαδικασία 3D Compare Analysis

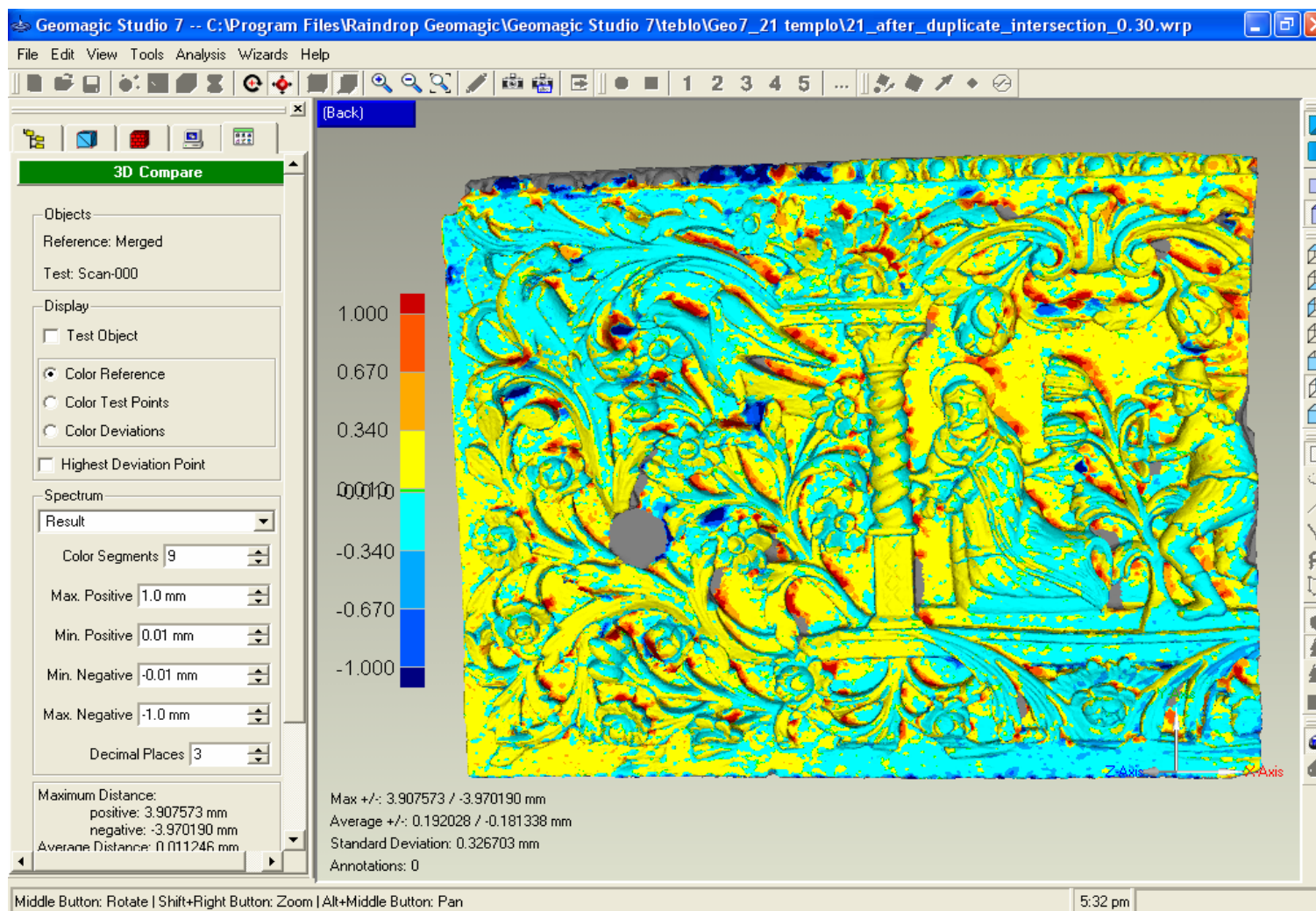
Με βάση τα παραπάνω εξάγουμε το τελικό αρχείο τύπου binary *.stl με τη διαδικασία που έχουμε ήδη περιγράψει. Παρακάτω παρουσιάζουμε την τελική απόκλιση των διάφορων νεφών σημείων των σαρώσεων με βάση το τελικό πολυγωνοποιημένο πλέγμα σημείων. Η συγκεκριμένη διαδικασία ονομάζεται 3D Compare (Analysis→ 3D Compare). Στη διαδικασία αυτή παρουσιάζονται και αποτελέσματα όπως οι μέγιστες μετακινήσεις καθώς και η τυπική απόκλιση των μετακινήσεων. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε πως οι τυπικές αποκλίσεις των μετακινήσεων των σημείων σε σχέση με το τελικό τριγωνικό πλέγμα κυμαίνονται από 0.2387mm έως 0.5036mm, τις οποίες θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ικανοποιητικές.



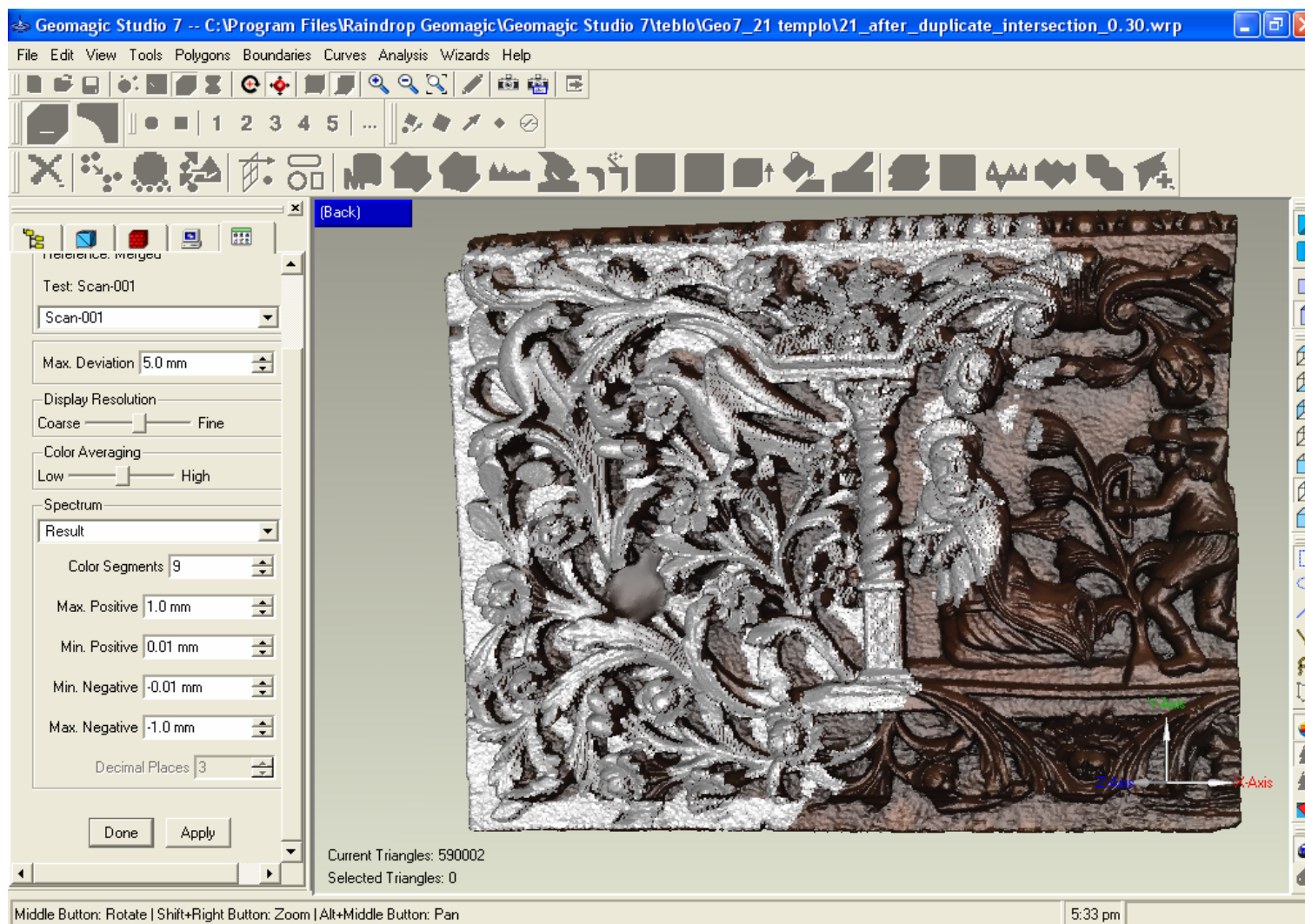
5.71 Βήματα για την διαδικασία 3D Compare



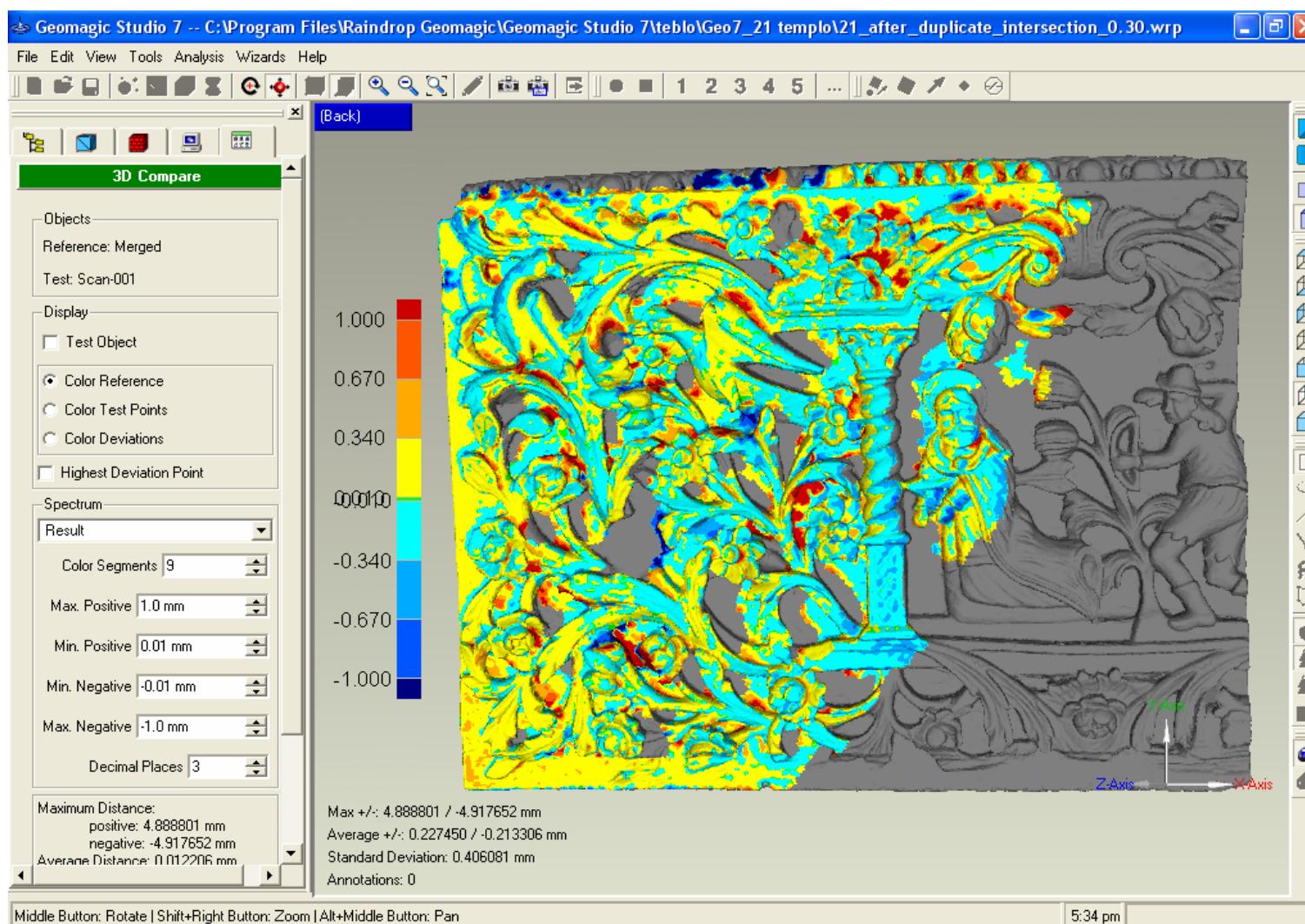
5.72 Προετοιμασία διαδικασίας 3D Compare για την πρώτη σάρωση



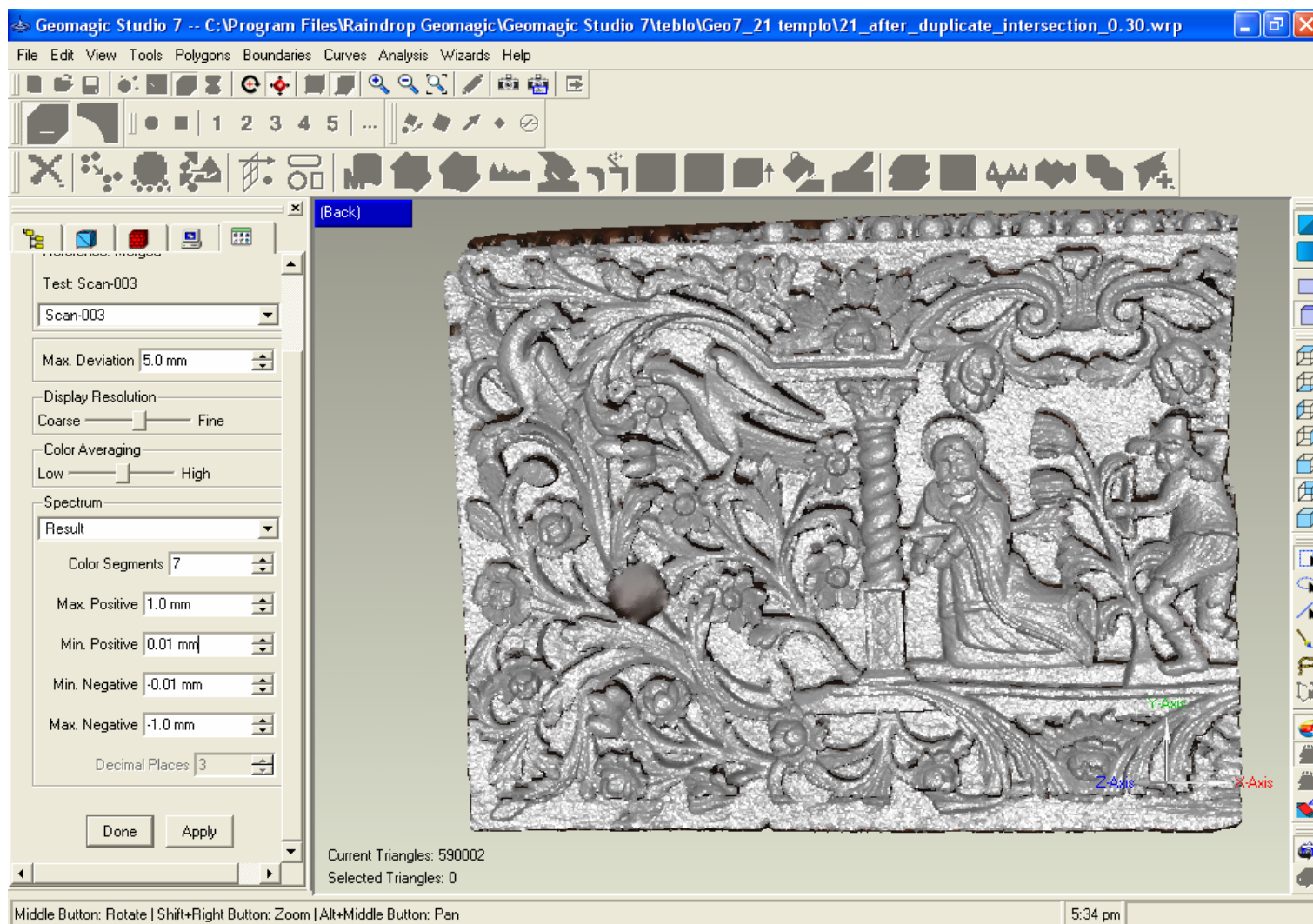
5.73 Αποτελέσματα διαδικασίας 3D Compare για την πρώτη σάρωση



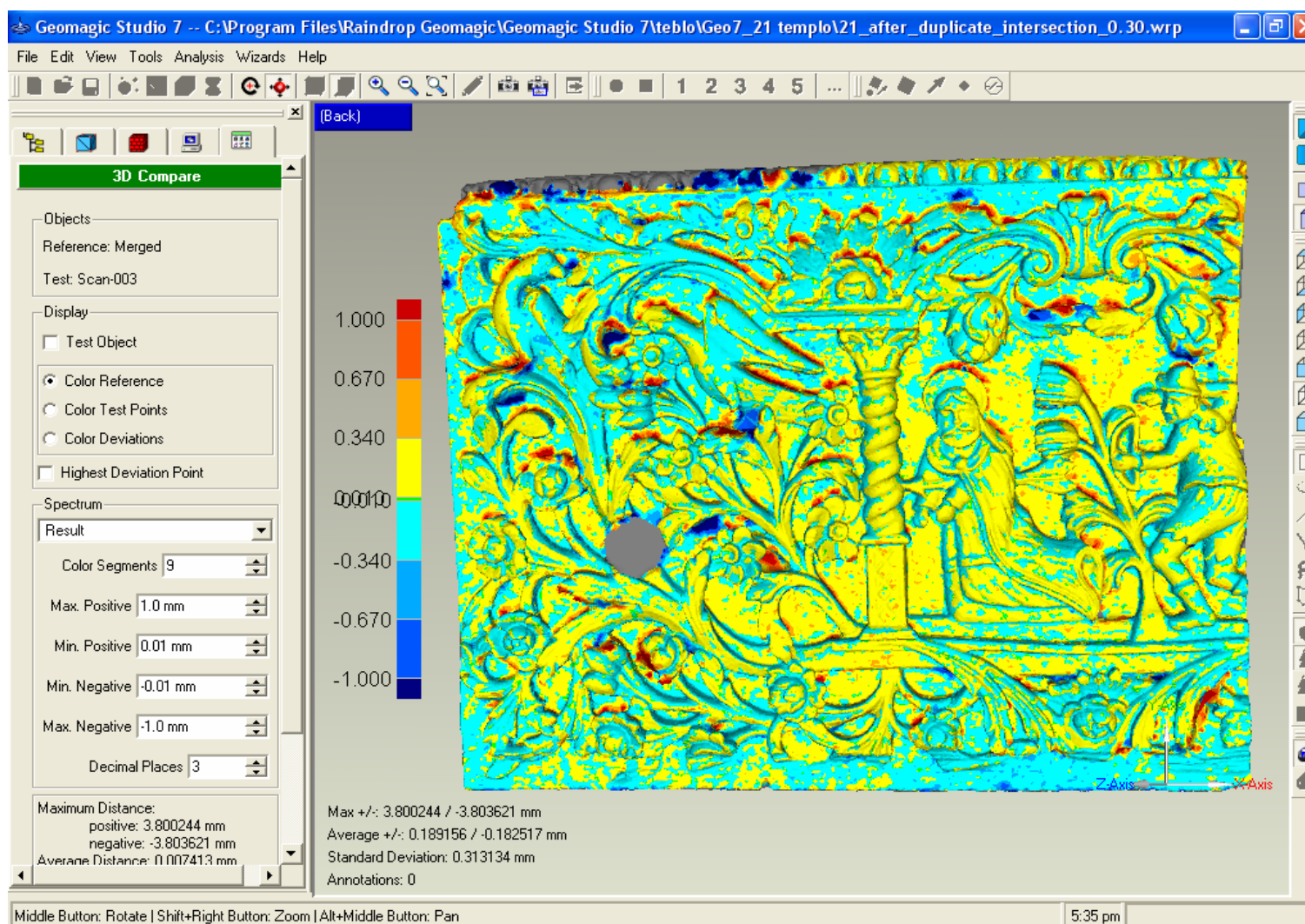
5.74 Προετοιμασία διαδικασίας 3D Compare για την δεύτερη σάρωση



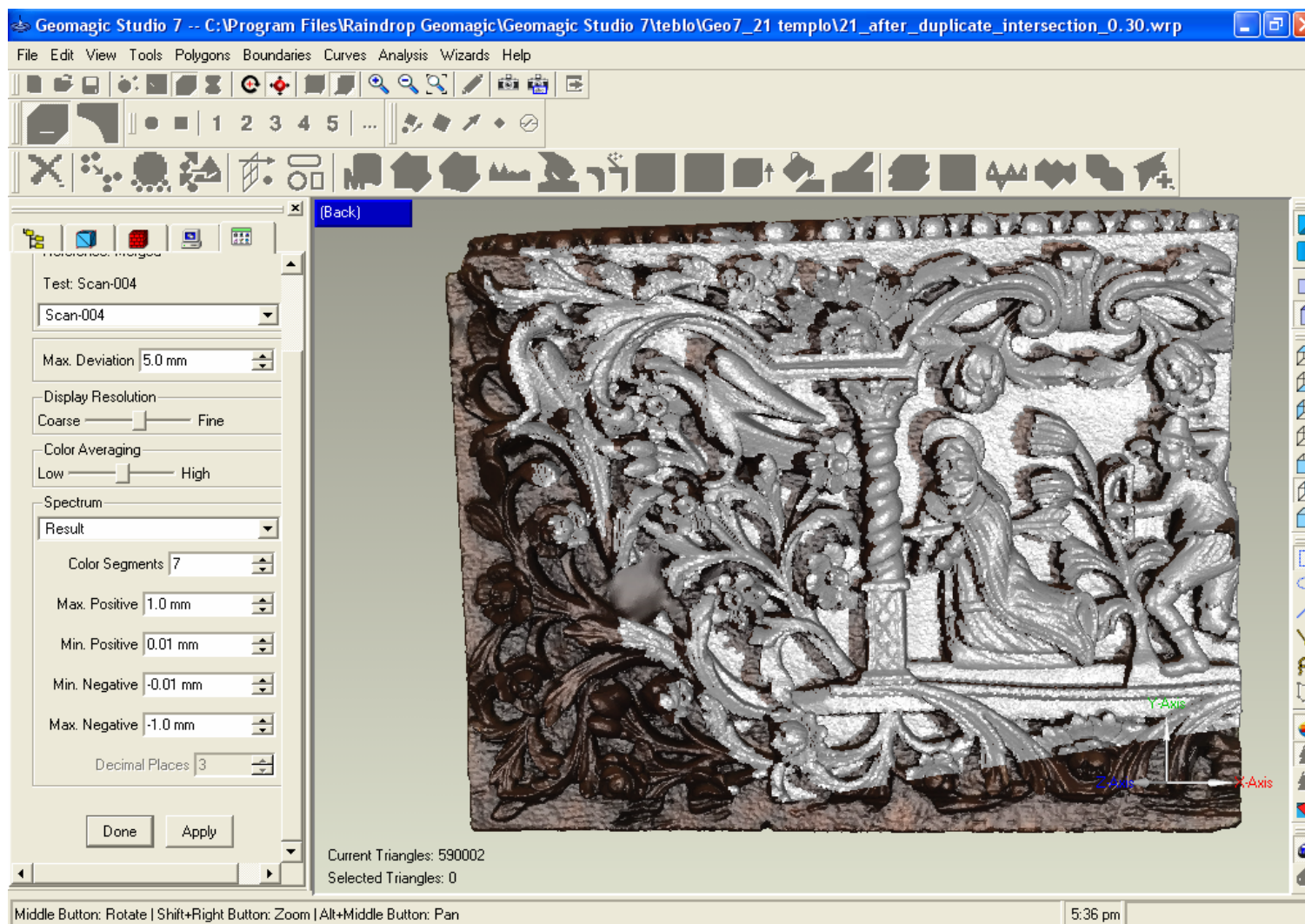
5.75 Αποτελέσματα διαδικασίας 3D Compare για την δεύτερη σάρωση



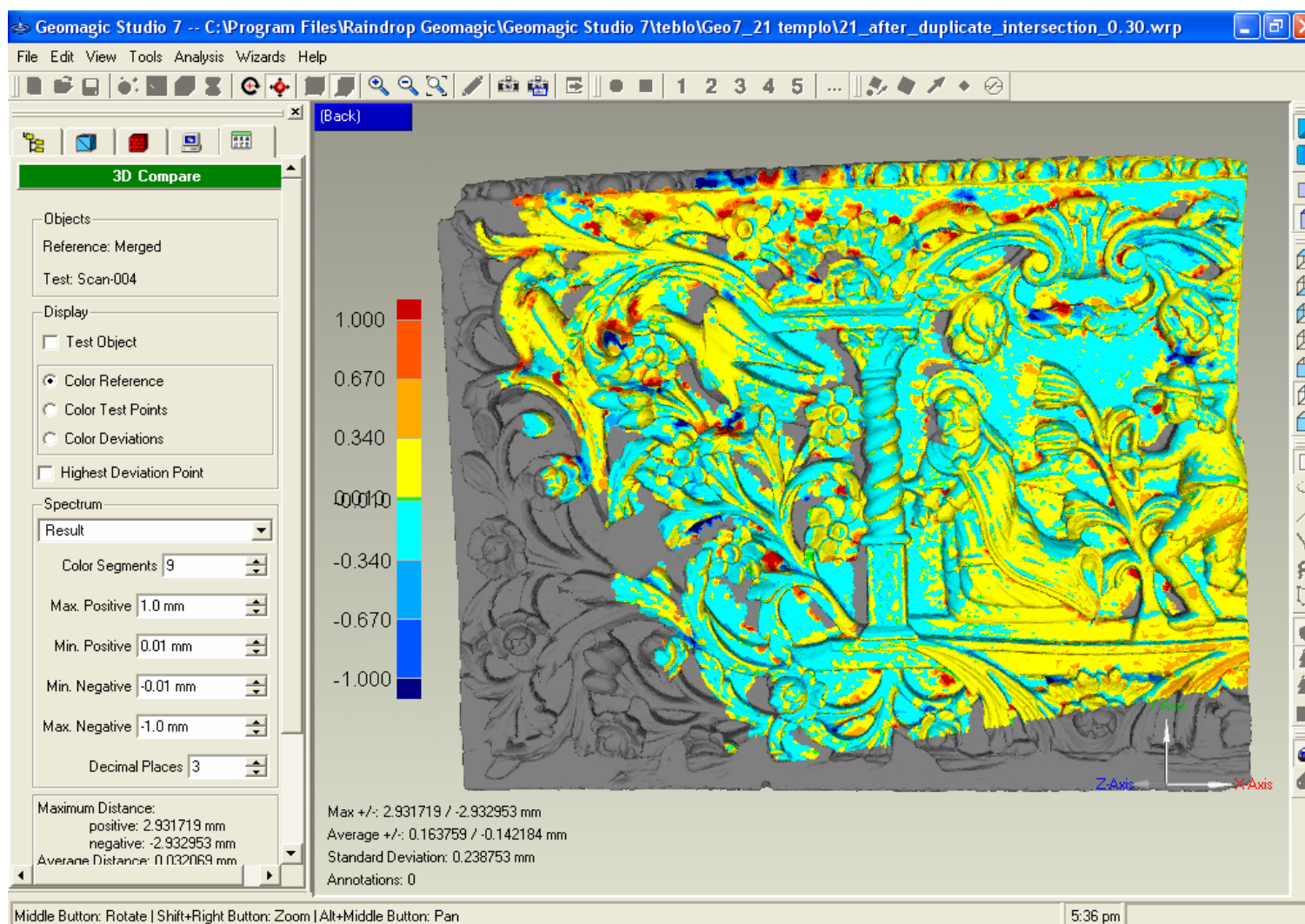
5.76 Προετοιμασία διαδικασίας 3D Compare για την τρίτη σάρωση



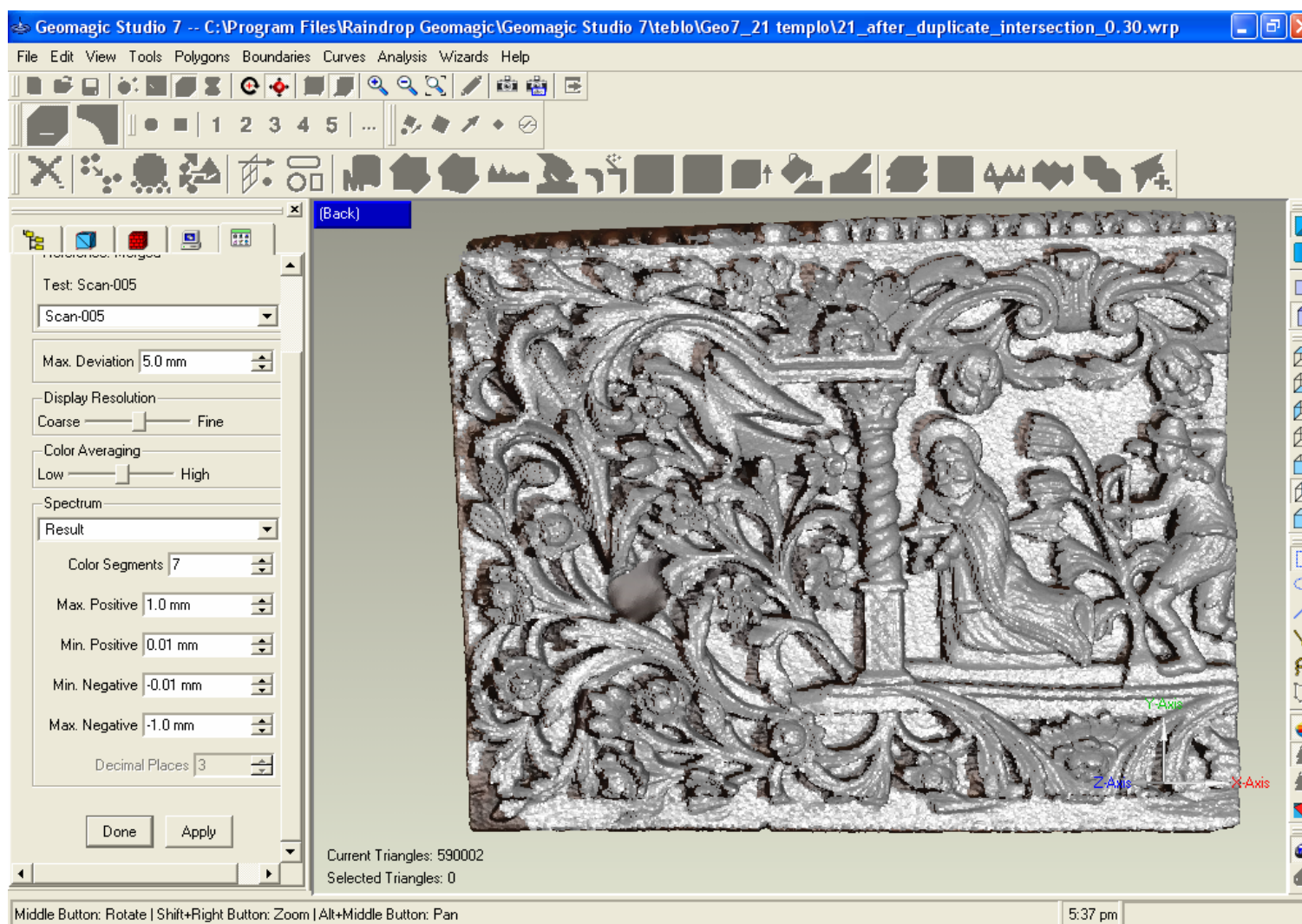
5.77 Αποτελέσματα διαδικασίας 3D Compare για την τρίτη σάρωση



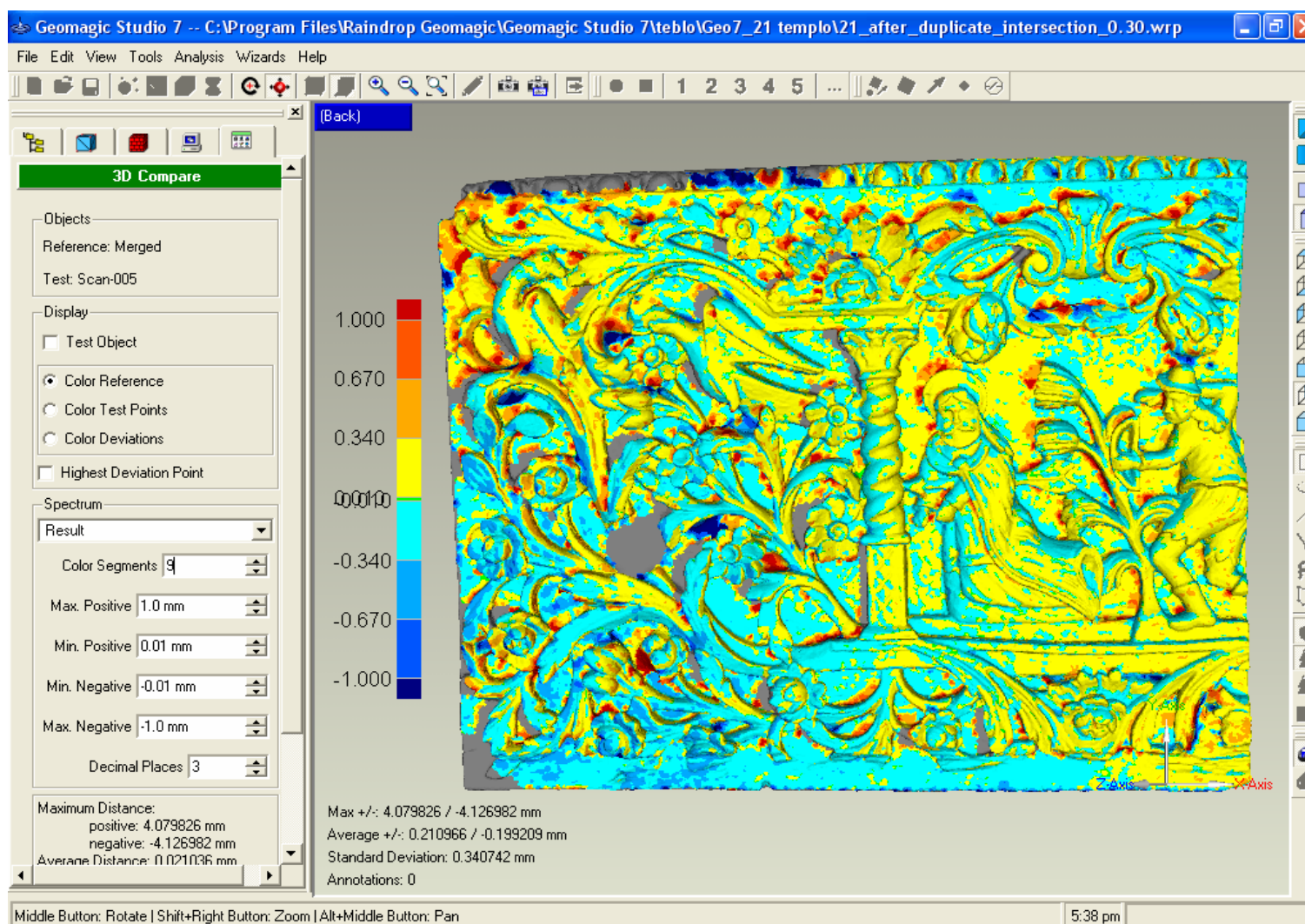
5.78 Προετοιμασία διαδικασίας 3D Compare για την τέταρτη σάρωση



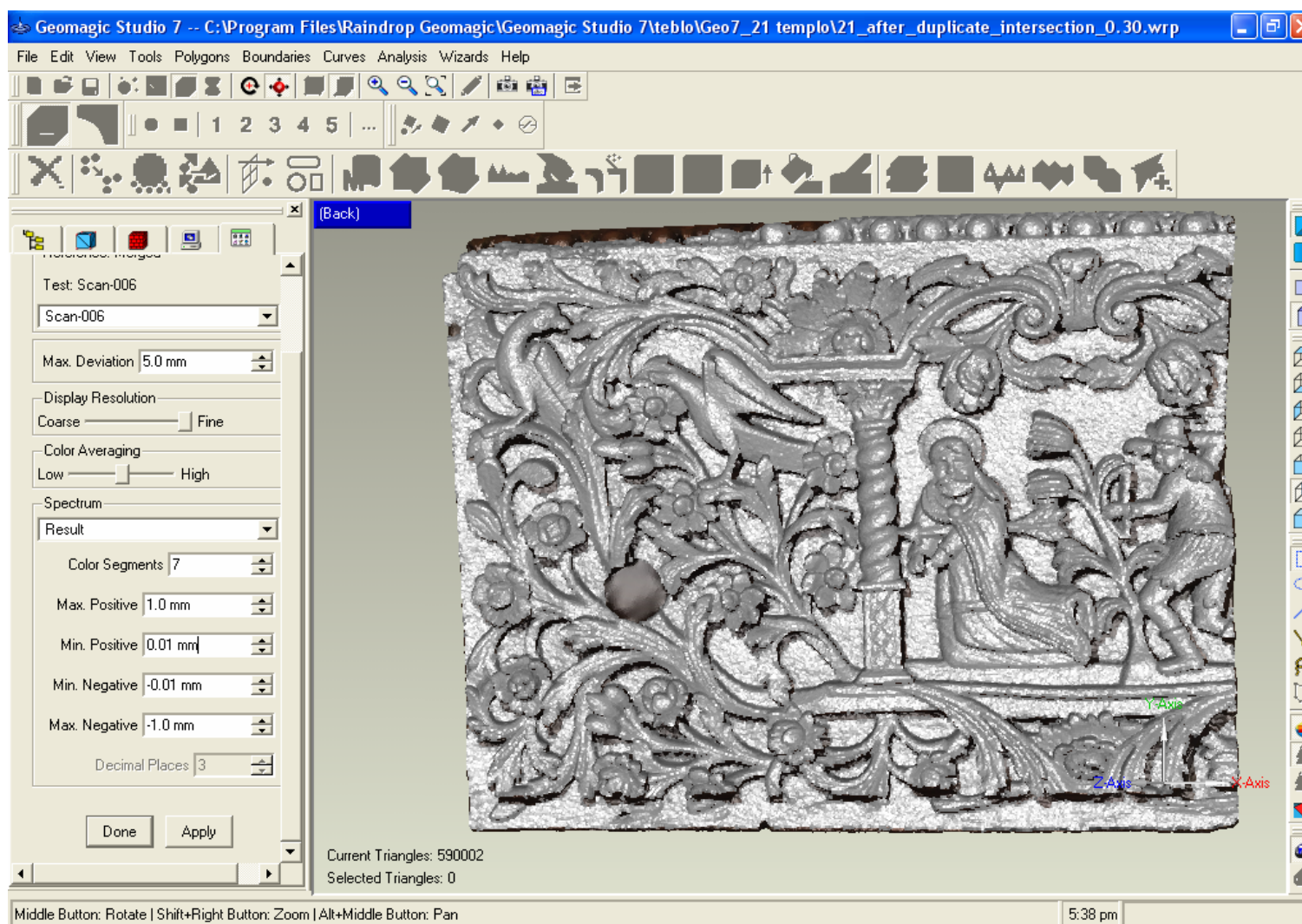
5.79 Αποτελέσματα διαδικασίας 3D Compare για την τέταρτη σάρωση



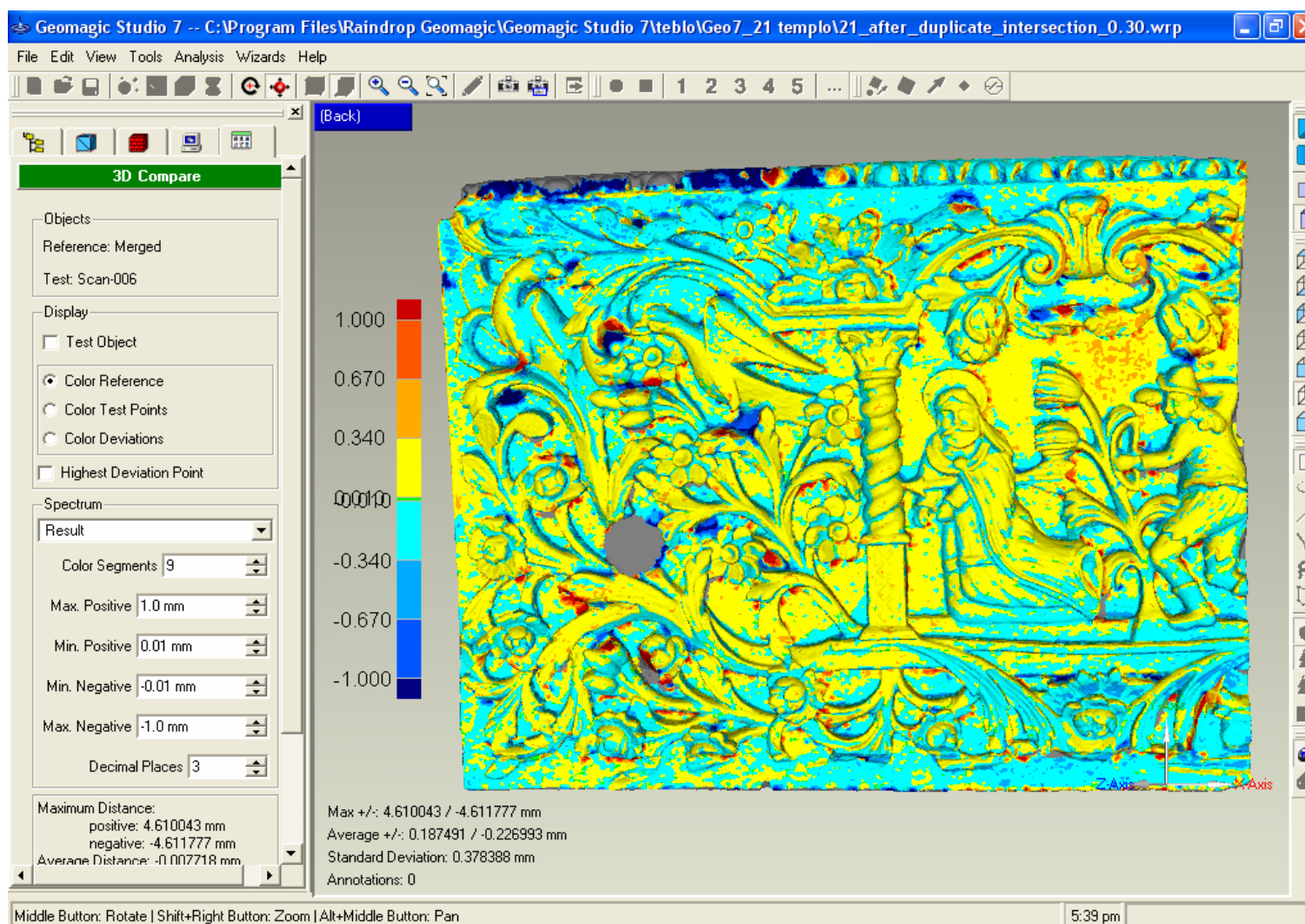
5.80 Προετοιμασία διαδικασίας 3D Compare για την πέμπτη σάρωση



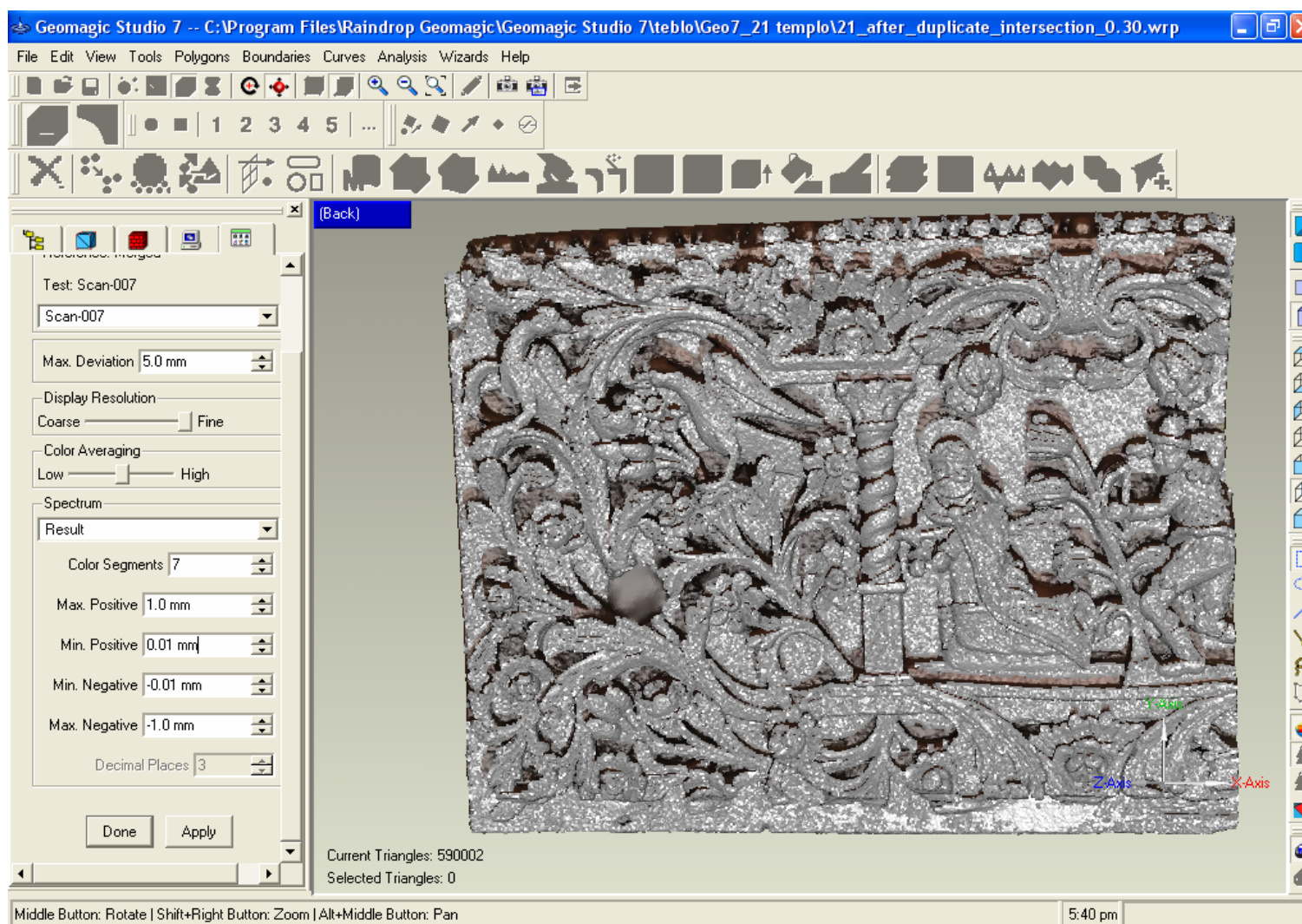
5.81 Αποτελέσματα διαδικασίας 3D Compare για την πέμπτη σάρωση



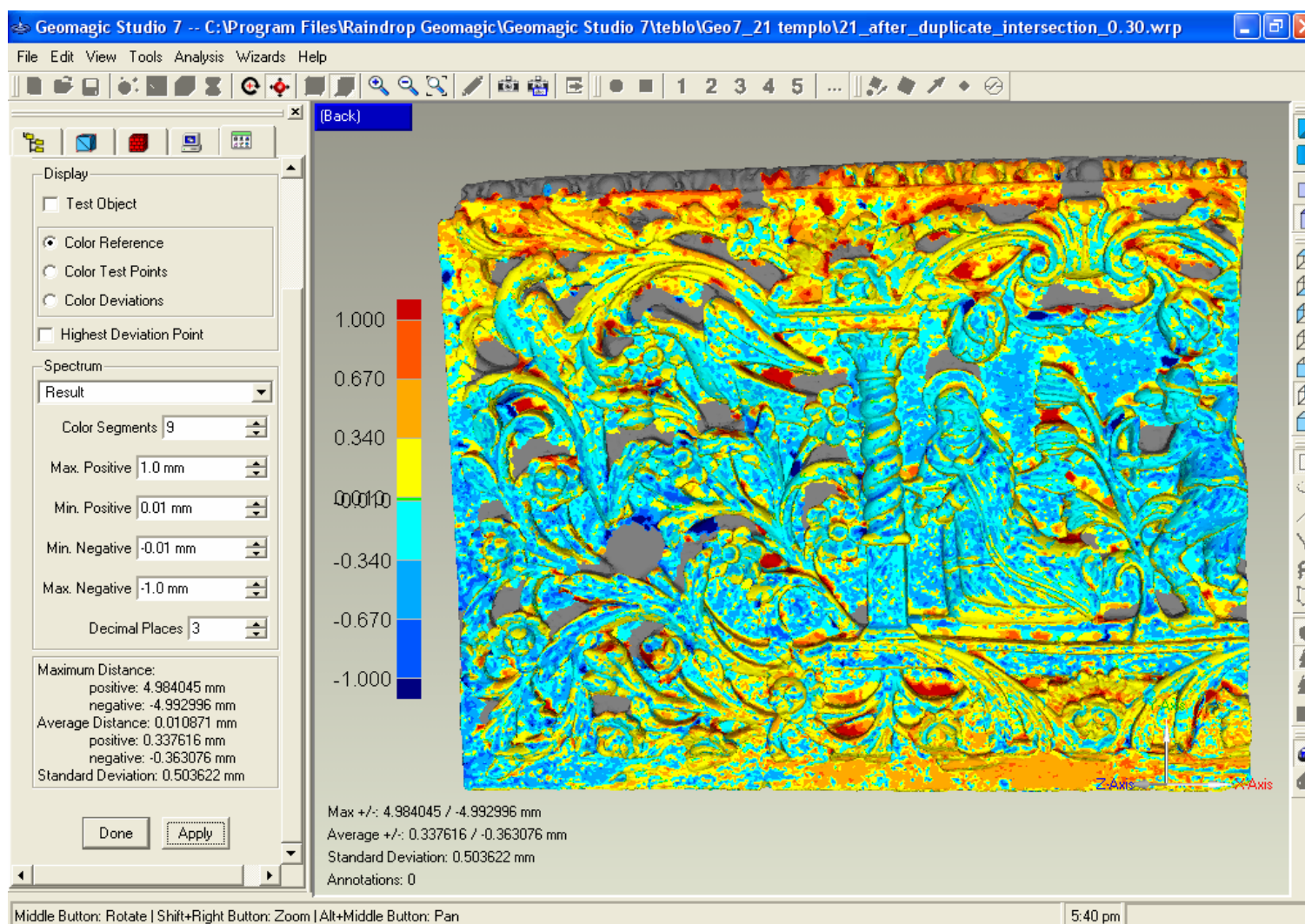
5.82 Προετοιμασία διαδικασίας 3D Compare για την έκτη σάρωση



5.83 Αποτελέσματα διαδικασίας 3D Compare για την έκτη σάρωση



5.84 Προετοιμασία διαδικασίας 3D Compare για την έβδομη σάρωση



5.85 Αποτελέσματα διαδικασίας 3D Compare για την έβδομη σάρωση

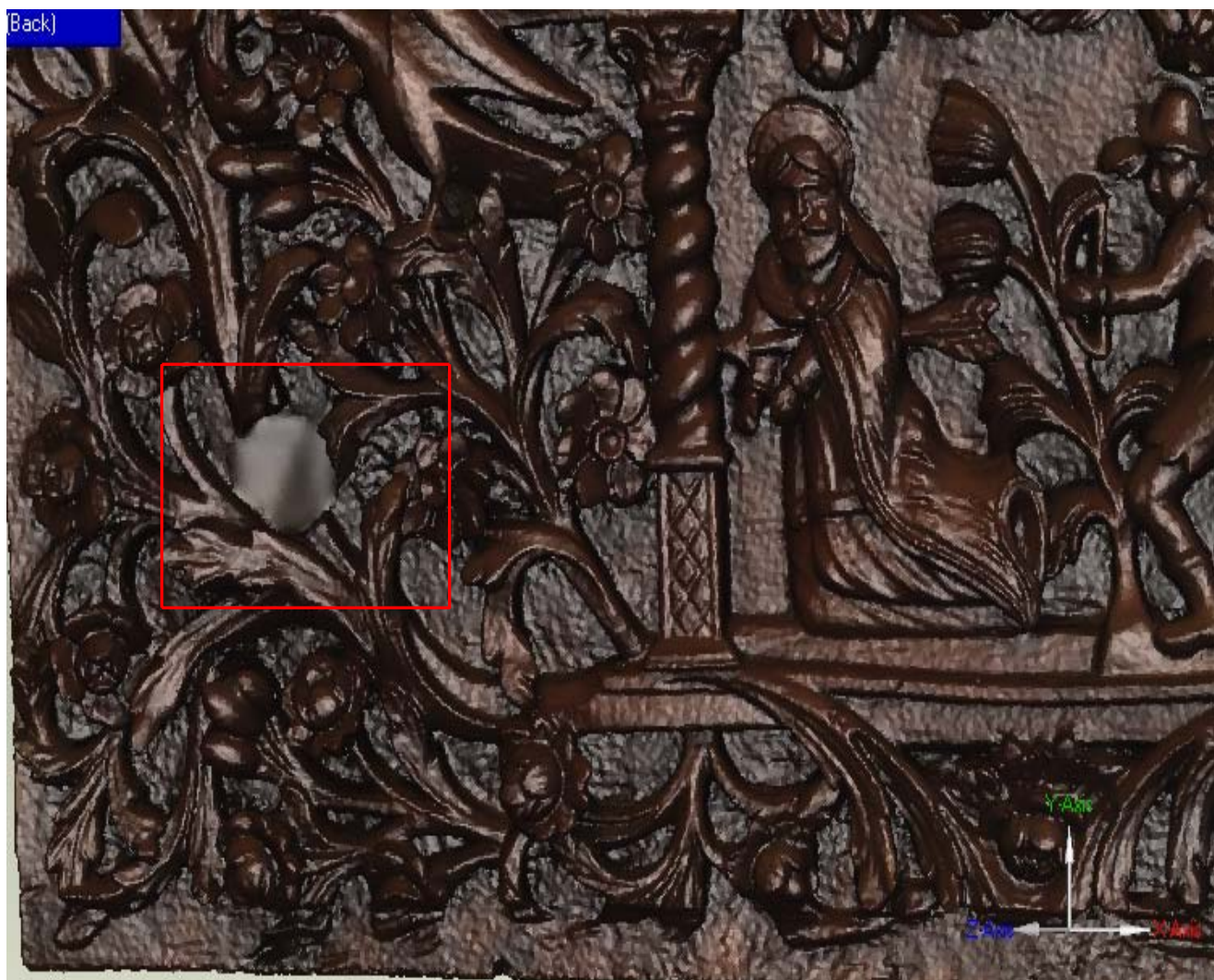
Γενικές Παρατηρήσεις

Ο μικρός αριθμός των σαρώσεων καθώς και η περίπλοκη γεωμετρία του αντικειμένου είχαν ως αποτέλεσμα, έπειτα και από την τριγωνοποίηση του αντικειμένου, την εμφάνιση πολλών οπών στο αντικείμενο. Οι περισσότερες από αυτές ήταν ιδιαίτερα επίπονο να κλειστούν σωστά με αποκορύφωμα την μεγάλη τρύπα που βρίσκεται κάτω αριστερά στο τέμπλο. Για το κλείσιμο της τρύπας αυτής δοκιμάστηκαν πολλοί εναλλακτικοί τρόποι και υιοθετήθηκε ο καλύτερος από αυτούς.

Ένα άλλο τμήμα που ήταν ιδιαίτερα δύσκολο ήταν το κλείσιμο της πίσω επιφάνειας του τέμπλου. Η μεταχείριση του ως μεγάλης οπής είχε κάκιστα αποτελέσματα, ανεξαρτήτως των επιμέρους ρυθμίσεων που χρησιμοποιήθηκαν. Η επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος με τον τρόπο που χρησιμοποιήσαμε πιστεύω αποτελεί βέλτιστη επιλογή ως προς το αποτέλεσμά της.

Πρέπει επίσης να αναφέρουμε πως χρησιμοποιήθηκε για την τριγωνοποίηση του αντικειμένου μόλις το 30% του αρχικού νέφους σημείων και μάλιστα με ικανοποιητικά αποτελέσματα, χωρίς να είναι εμφανής κάποια αλλοίωση στο μοντέλο μας. Το stl αρχείο που δημιουργήθηκε έχει μέγεθος 28.1 MB.

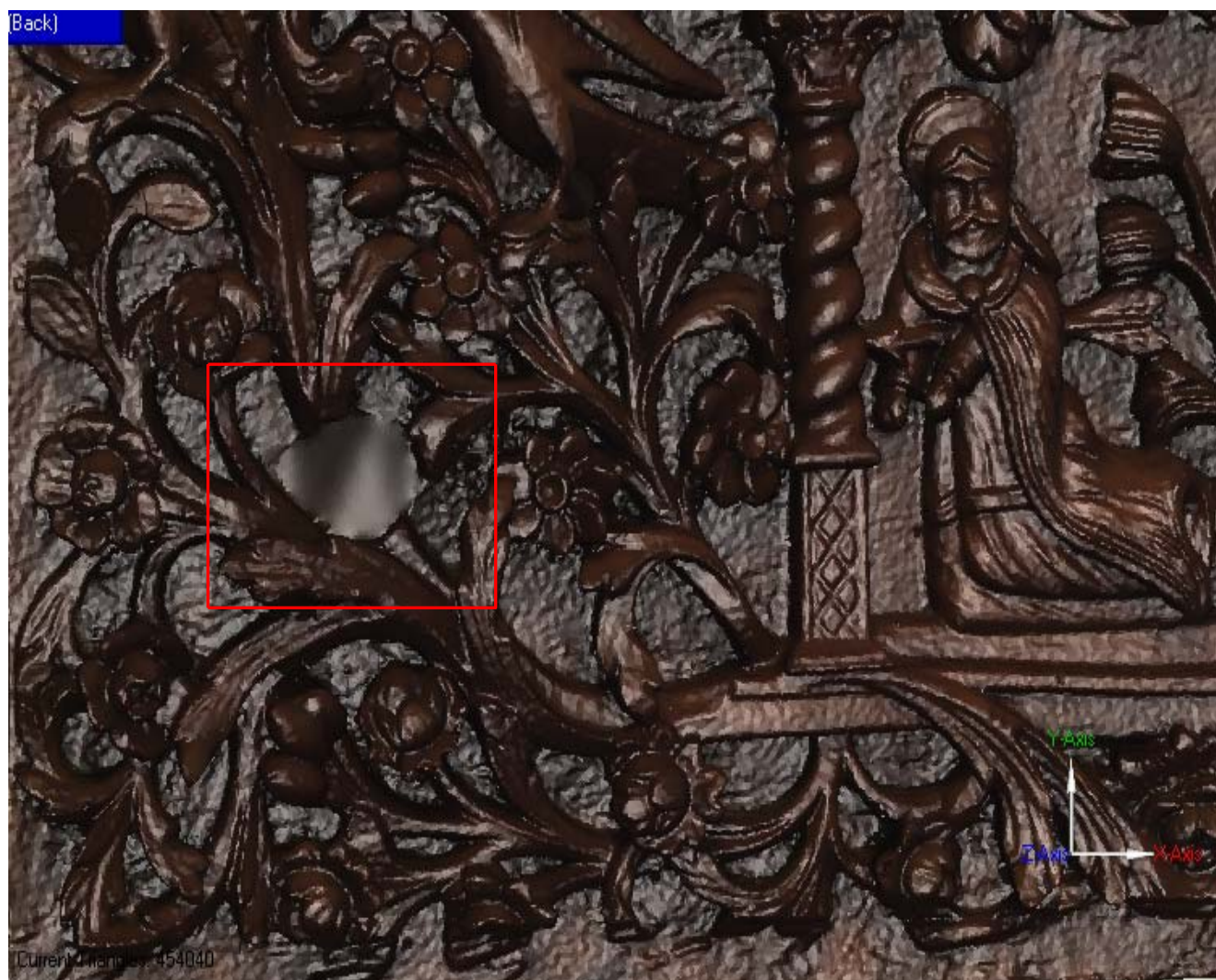
Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες μη βέλτιστες προσπάθειες κλεισίματος της μεγάλης οπής του τέμπλου.



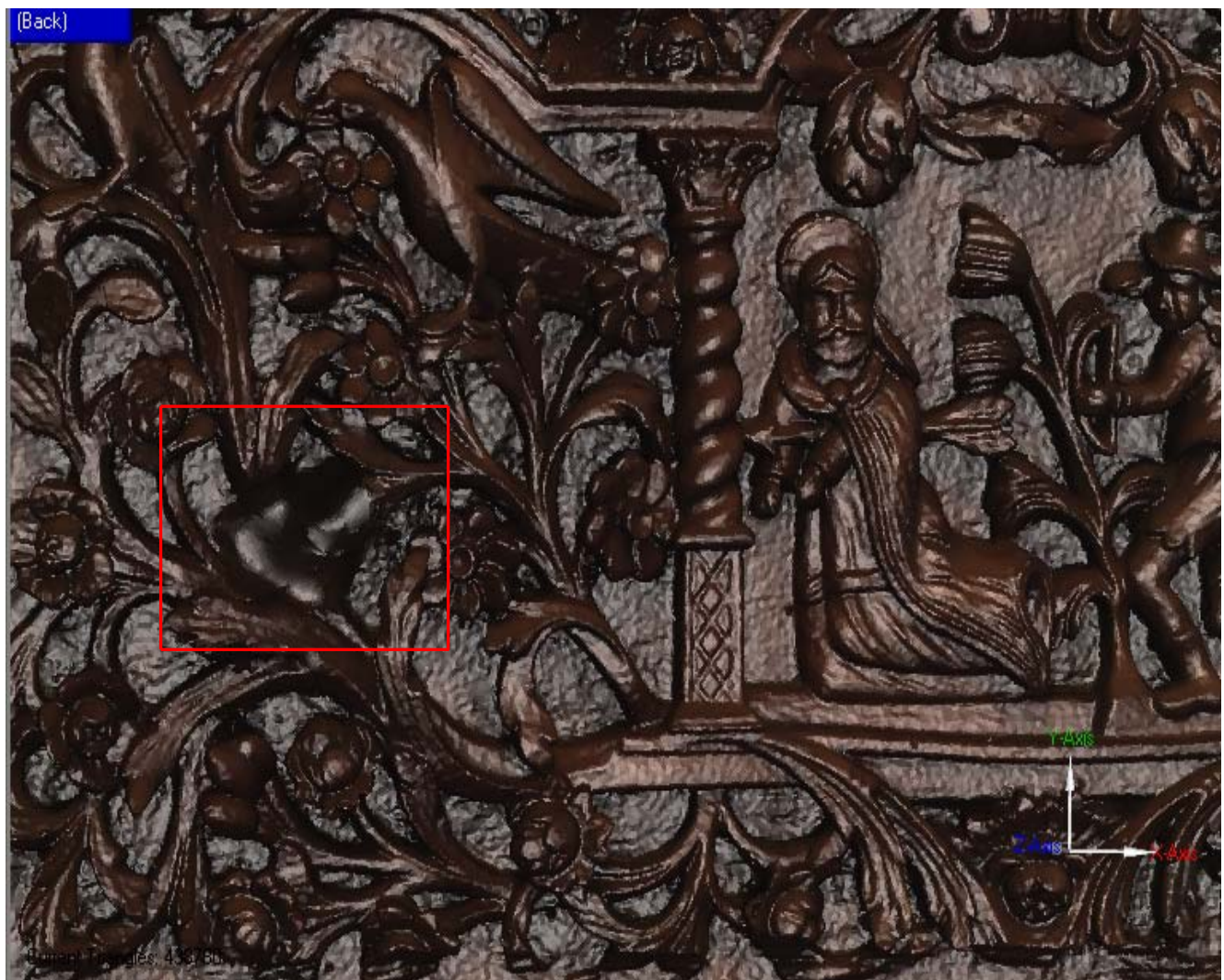
5.86 Κλείσιμο μεγάλης οπής του τέμπλου



5.87 Κλείσιμο μεγάλης οπής του τέμπλου



5.88 Κλείσιμο μεγάλης οπής του τέμπλου



5.89 Κλείσιμο μεγάλης οπής του τέμπλου

6 Επεξεργασία μουσικής λύρας με τη χρήση του Geomagic Studio 7

Σε αυτή την ενότητα της εργασίας μου θα παρουσιαστεί η διαδικασία ψηφιοποίησης μιας παραδοσιακής μουσικής κρητικής λύρας. Η λύρα βρίσκεται στο εργαστήριο του DML των ΤΕΙ Χανίων και ψηφιοποιήθηκε με τη βοήθεια του Geomagic Studio 7 και του τρισδιάστατου σαρωτή της Minolta που χρησιμοποιήθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο.

Η λύρα που έχουμε να επεξεργαστούμε αποτελείται από δύο ξεχωριστά κομμάτια, το βασικό κορμό και το καπάκι. Πριν ξεκινήσουμε τη σάρωση του αντικειμένου καλό είναι να γνωρίζουμε πάρα πολύ καλά τη μορφή του και να διακρίνουμε τυχόν σημεία όπου μπορεί να υπάρχει πρόβλημα στο νέφος σημείων που θα λάβουμε (είτε λόγω γεωμετρίας, είτε λόγω υλικού ή ακόμα και άλλοι παράγοντες). Αυτό που παρατηρούμε στο αντικείμενο που θα επεξεργαστούμε είναι το λεπτό πάχος των επιφανειών του και ειδικά όσον αφορά το καπάκι. Στα σημεία ειδικά των ορίων του, εκεί δηλαδή όπου υπάρχει αλλαγή της καμπυλότητας των επιφανειών του, θα υπάρχουν μεγαλύτερα προβλήματα όσον αφορά την ακρίβεια σάρωσης. Η μόνη λύση για να μετριάσουμε το πρόβλημα αυτό είναι να πραγματοποιήσουμε περισσότερες σαρώσεις στα σημεία αυτά και από πολλές διαφορετικές οπτικές γωνίες.

Οι σαρώσεις που πραγματοποιήσαμε έγιναν με manual χειρισμούς για τις ρυθμίσεις τις κάμερας καθώς και για τον προσανατολισμό του αντικειμένου. Χρησιμοποιήθηκε ο φακός Tele και Middle με manual focus κάθε φορά και laser sensitivity στο 20.

Τα αντικείμενά μας τοποθετήθηκαν σε επαρκώς φωτιζόμενο χώρο για τη σάρωσή τους. Η στήριξη των αντικειμένων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια πολλών και διάφορων αντικειμένων, έτσι ώστε να είναι τοποθετημένα κάθε φορά σε κατάλληλη θέση και προσανατολισμό. Πραγματοποιήθηκαν αρκετές σαρώσεις των τεμαχίων αυτών, σε διάφορες γωνίες και θέσεις με

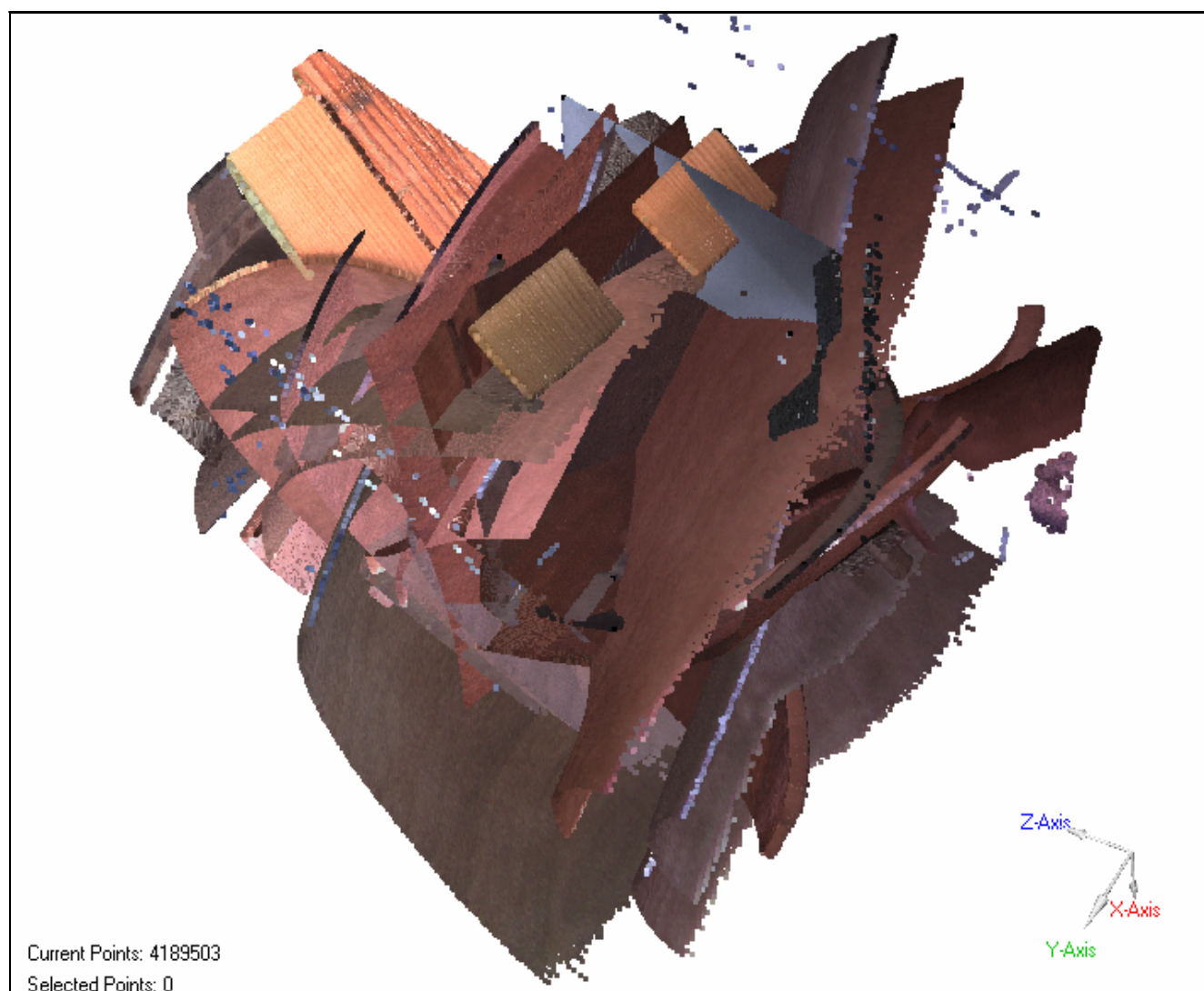
αντικειμενικό σκοπό να καλύψουμε πλήρως και την παραμικρή λεπτομέρεια του σχήματός τους.

Η επεξεργασία των δεδομένων που λάβαμε από την σάρωση των αντικειμένων μας θα ακολουθήσει το διάγραμμα ροής της προηγούμενης ενότητας το οποίο αποδείχτηκε επαρκές και με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Γενικότερα, στη συγκεκριμένη μελέτη και επεξεργασία των αντικειμένων μας χρησιμοποιούμε όπου είναι δυνατό, τις διαδικασίες και τις ρυθμίσεις που χρησιμοποιήθηκαν προηγουμένως, μιας και ήταν επιτυχείς. Άλλωστε πρέπει πάντα να αποτελεί στόχο όλων μας το βέλτιστο αποτέλεσμα της επεξεργασίας δεδομένων σε βέλτιστο χρόνο. Στη συνέχεια της μελέτης μας θα παρουσιάσουμε τα βασικότερα και πιο ουσιαστικά βήματα των διαδικασιών που ακολουθούμε. Θα ξεκινήσουμε πρώτα με την περιγραφή του κυρίως τμήματος της λύρας και στη συνέχεια με το καπάκι της.

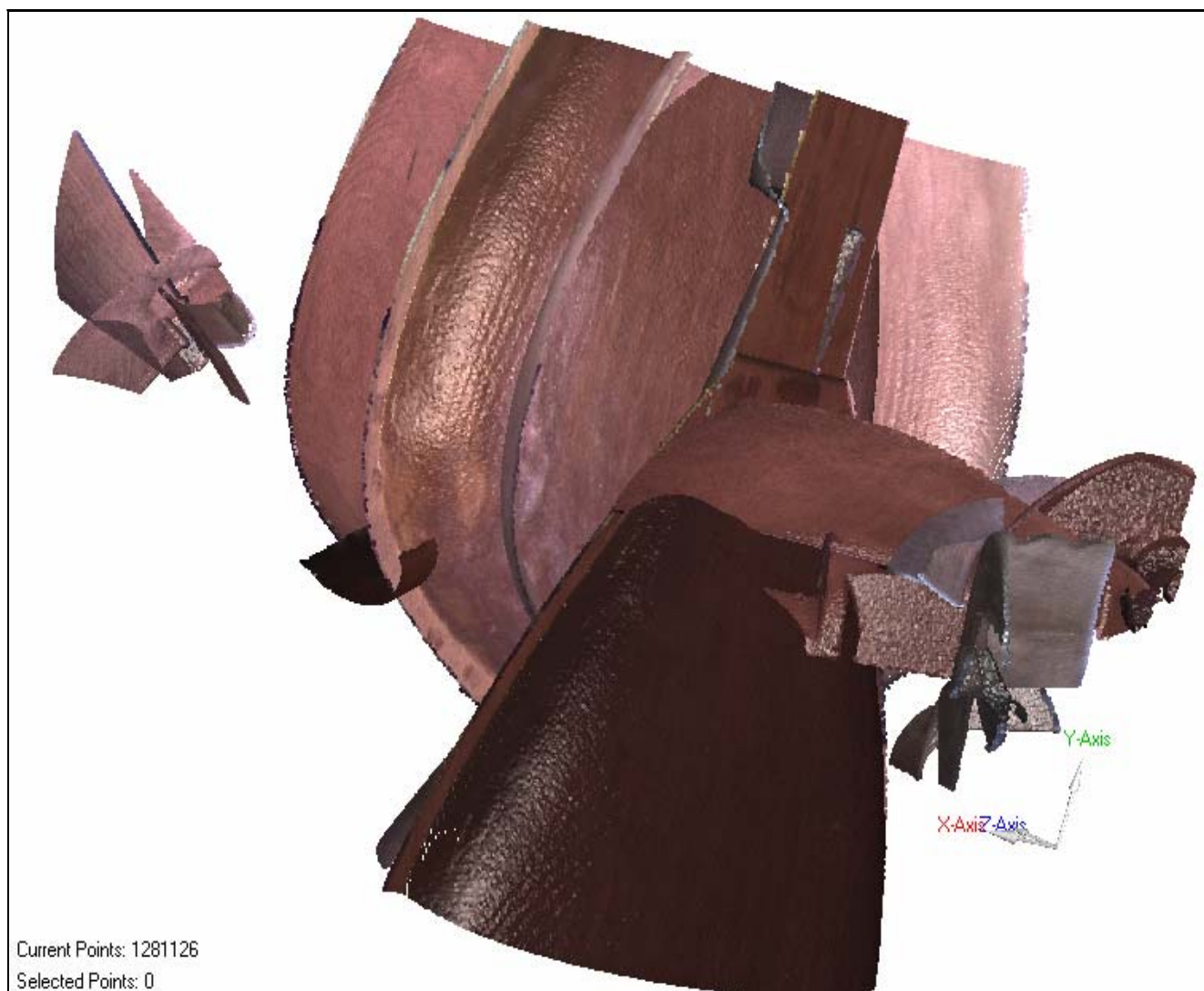
Κυρίως τμήμα λύρας

a) Φάση σημείων (Point Phase)

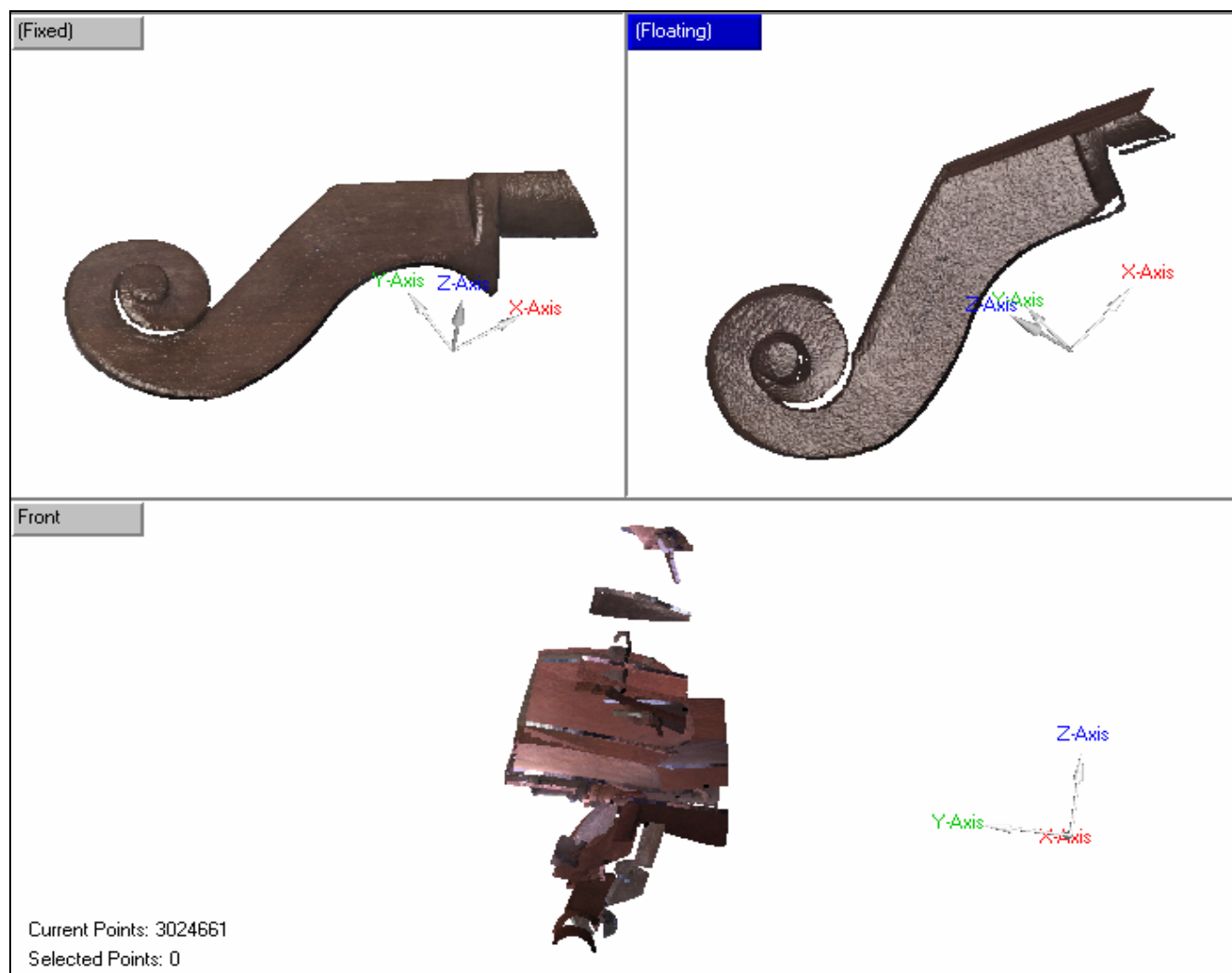
Από τη σάρωση των σημείων με την τρισδιάστατη κάμερα της Minolta εξάγουμε τα νέφη σημείων σε τύπο αρχείου *.wrp. Μέσω του Geomagic 7 τα μετατρέπουμε από ordered phase σε unordered phase (όπως και στο διάγραμμα ροής της προηγούμενης ενότητας). Στη συνέχεια προχωράμε στον καθαρισμό των σημείων αυτών από τον θόρυβο και στη συνέχεια στην ευθυγράμμισή τους (οι διαδικασίες καθαρισμού του θορύβου, της ευθυγράμμισης καθώς και άλλων διαδικασιών έχουν περιγραφεί αναλυτικά σε προηγούμενες ενότητες, οπότε εδώ κρίνω σκόπιμο να εστιάσω κυρίως στα αποτελέσματα). Για την ευθυγράμμιση των σαρώσεων έχουν χρησιμοποιηθεί οι μέθοδοι 1-point-registration και n-point-registration, ανάλογα με τη σάρωση και την δυσκολία που παρουσιάστηκε για σωστή ευθυγράμμιση. Στη συνέχεια εφαρμόζεται και η διαδικασία του Global Registration, για εξάλειψη τυχόν αποκλίσεων κατά τις ευθυγραμμίσεις.



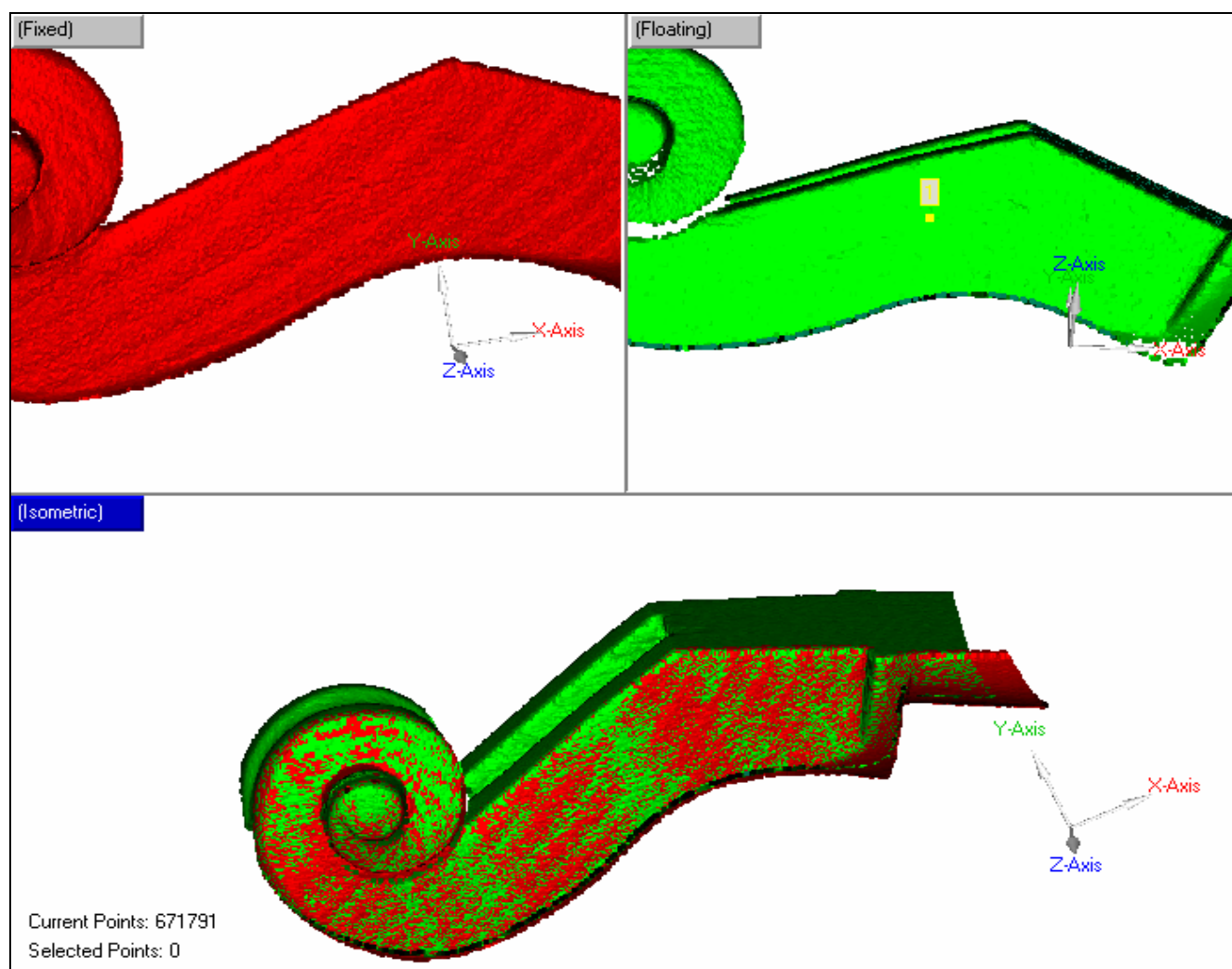
Εικόνα 6.1 Νέφη σημείων του κυρίως μέρους με θόρυβο



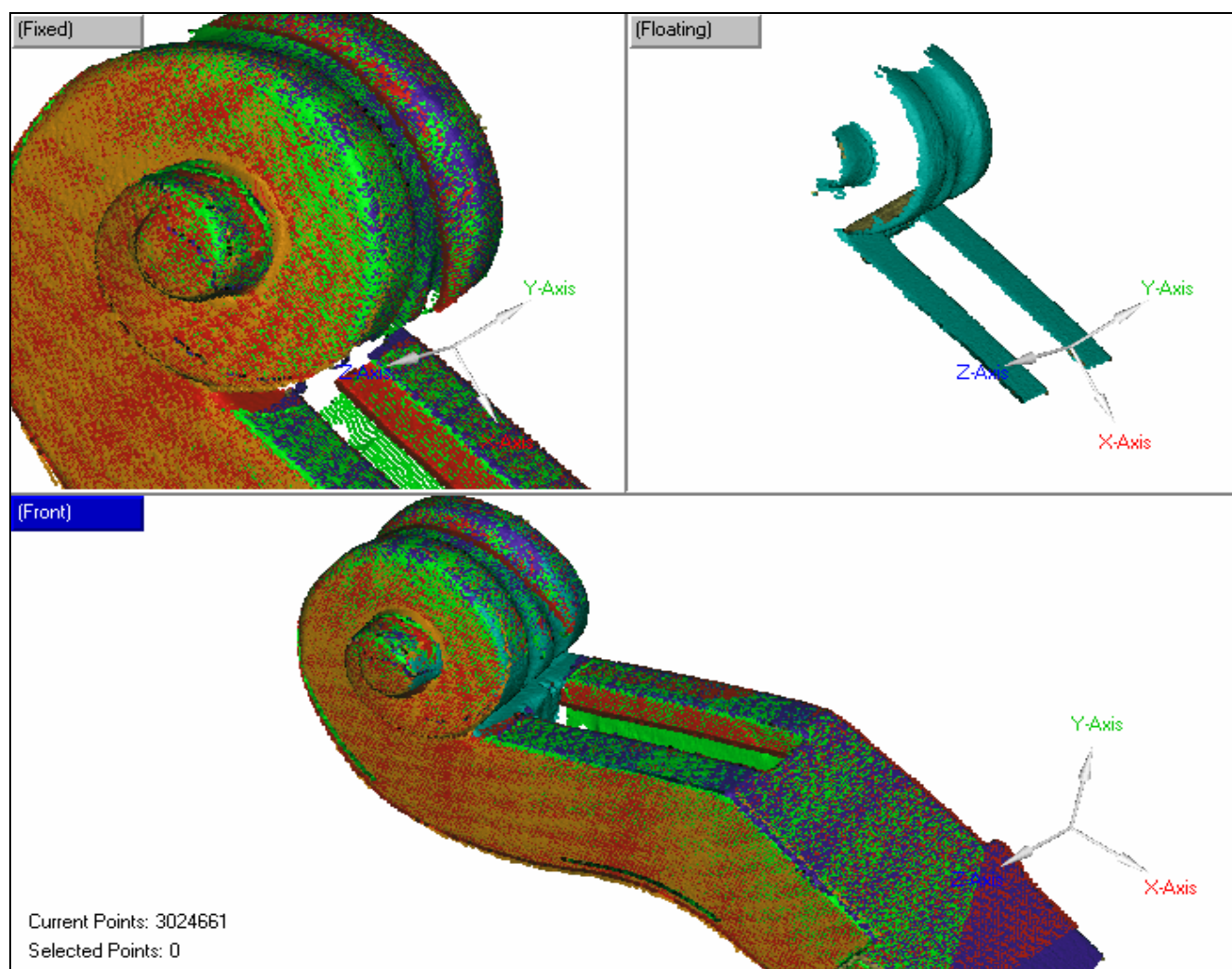
Εικόνα 6.2 Νέφη σημείων του κυρίως μέρους καθαρισμένα από τον θόρυβο



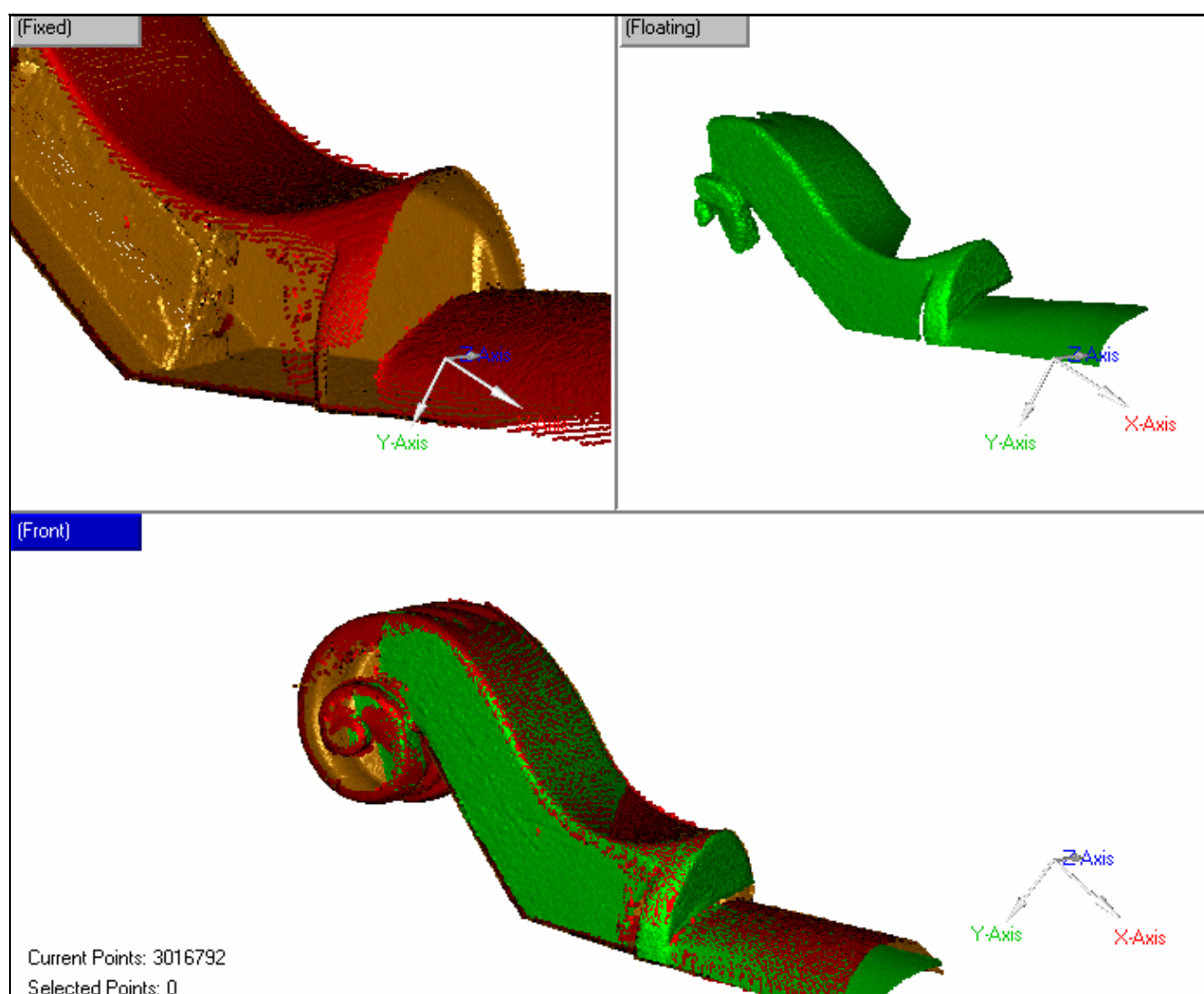
Εικόνα 6.3 Διαδικασία ευθυγράμμισης σαρώσεων (Manual Registration)



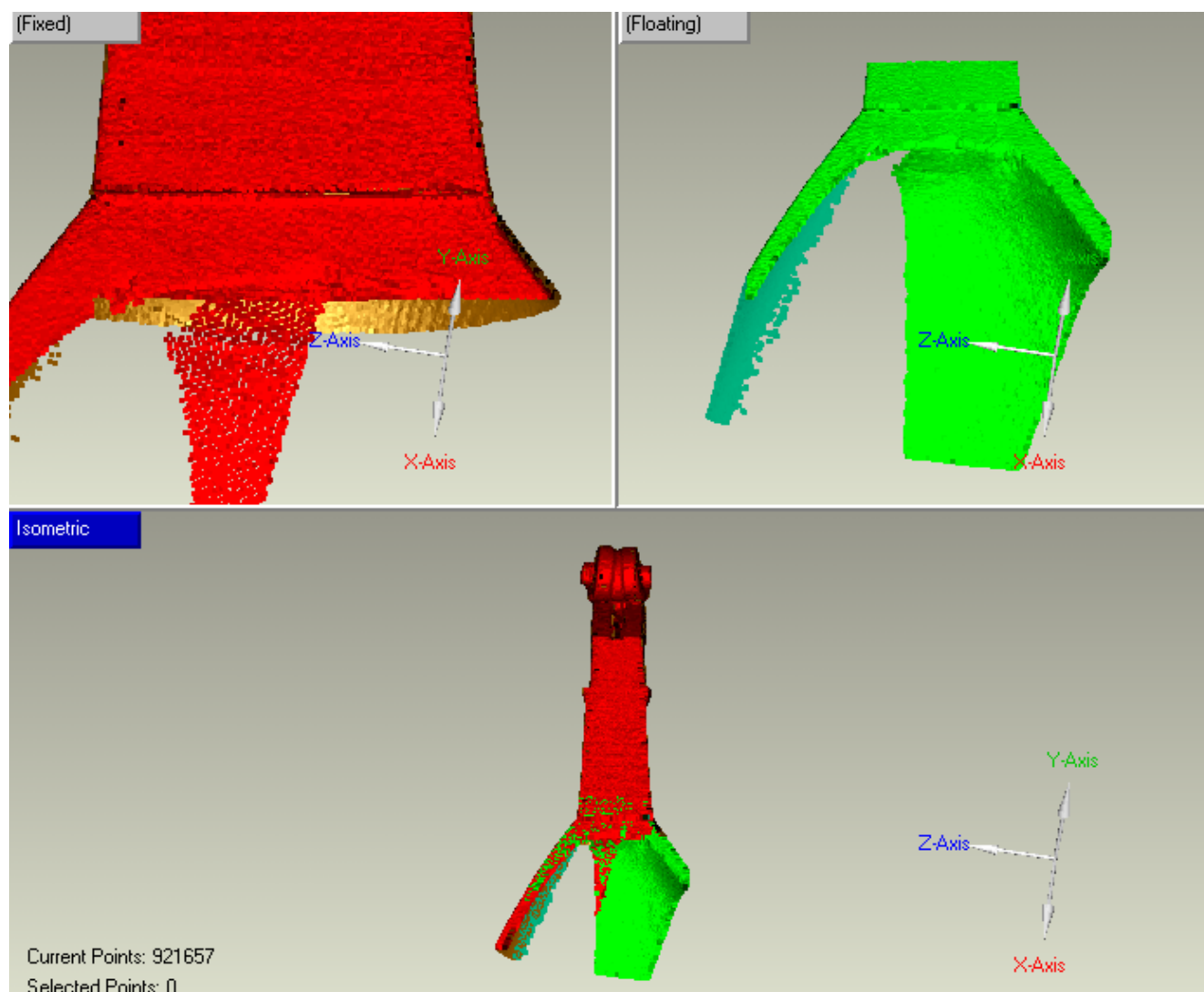
Εικόνα 6.4 Διαδικασία ευθυγράμμισης σαρώσεων (Manual Registration)



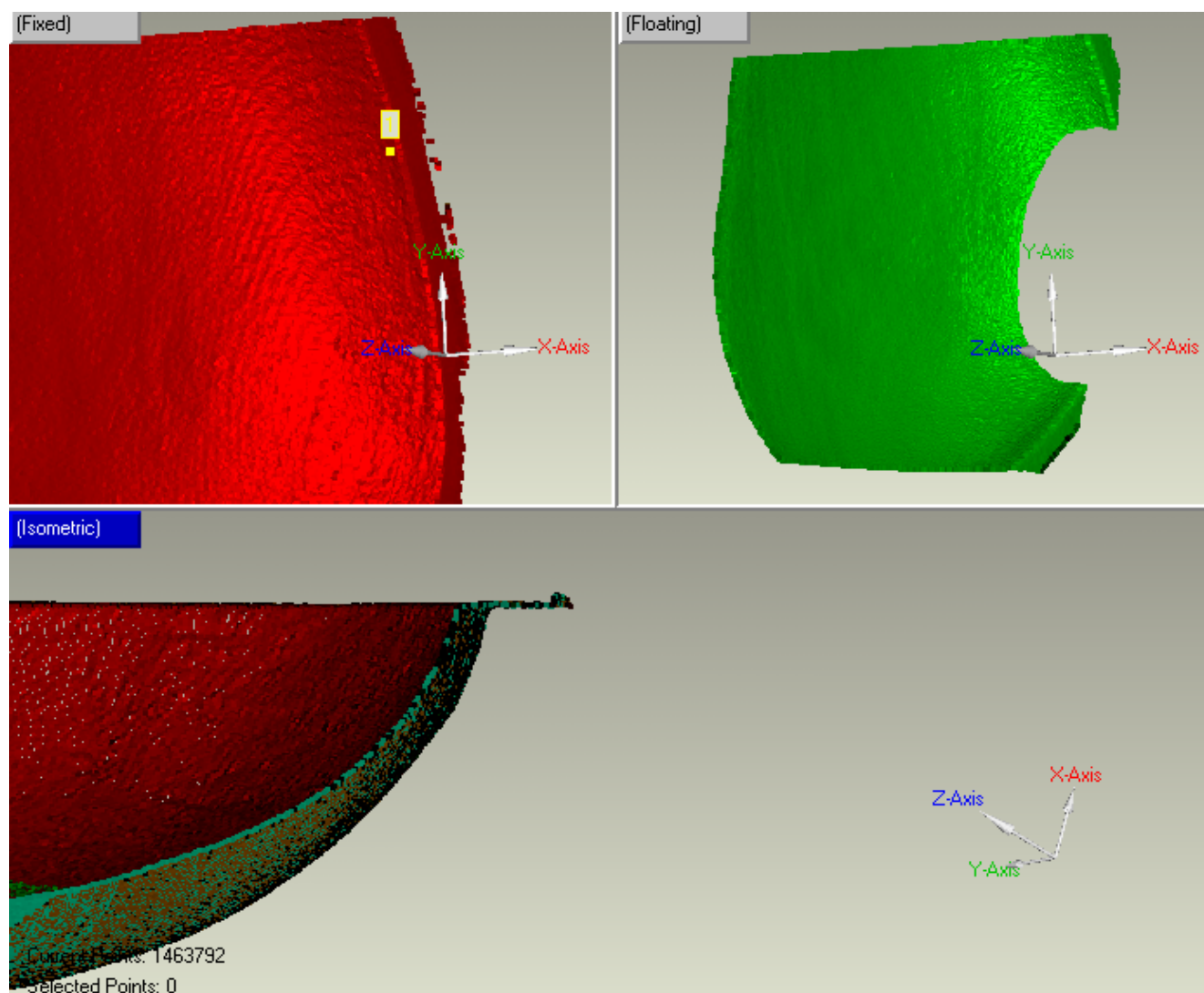
Εικόνα 6.5 Διαδικασία ευθυγράμμισης σαρώσεων (Manual Registration)



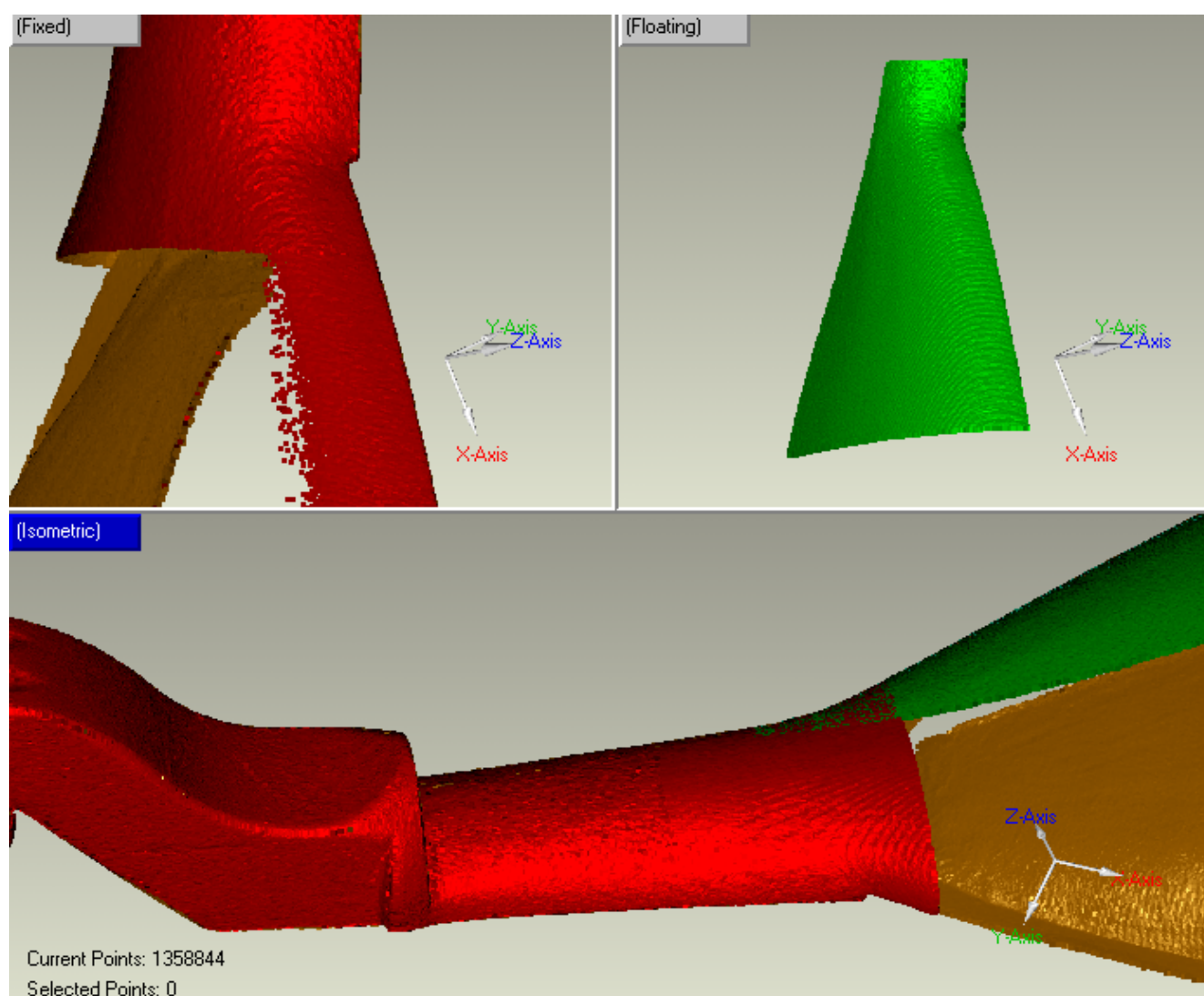
Εικόνα 6.6 Διαδικασία ευθυγράμμισης σαρώσεων (Manual Registration)



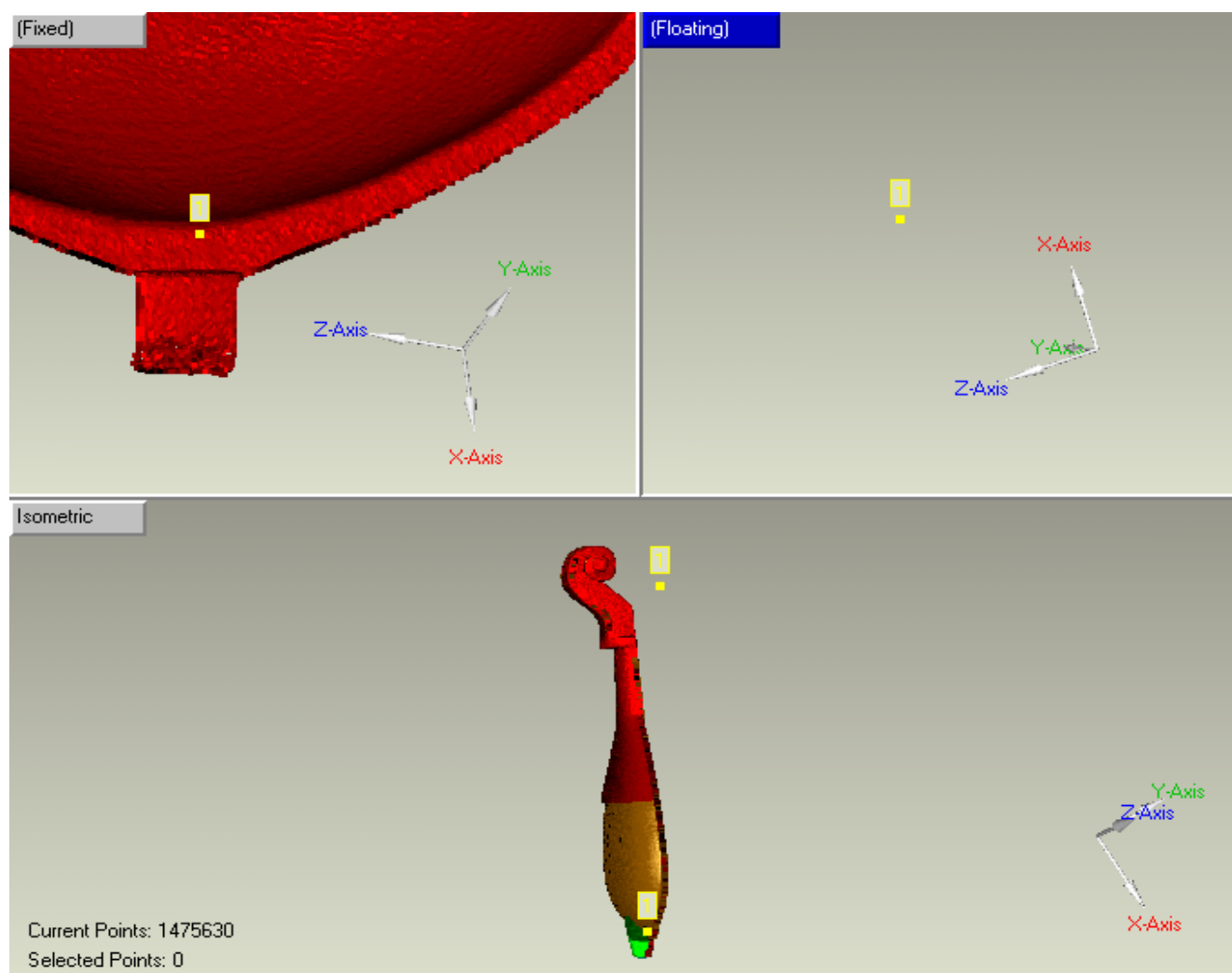
Εικόνα 6.7 Διαδικασία ευθυγράμμισης σαρώσεων (Manual Registration)



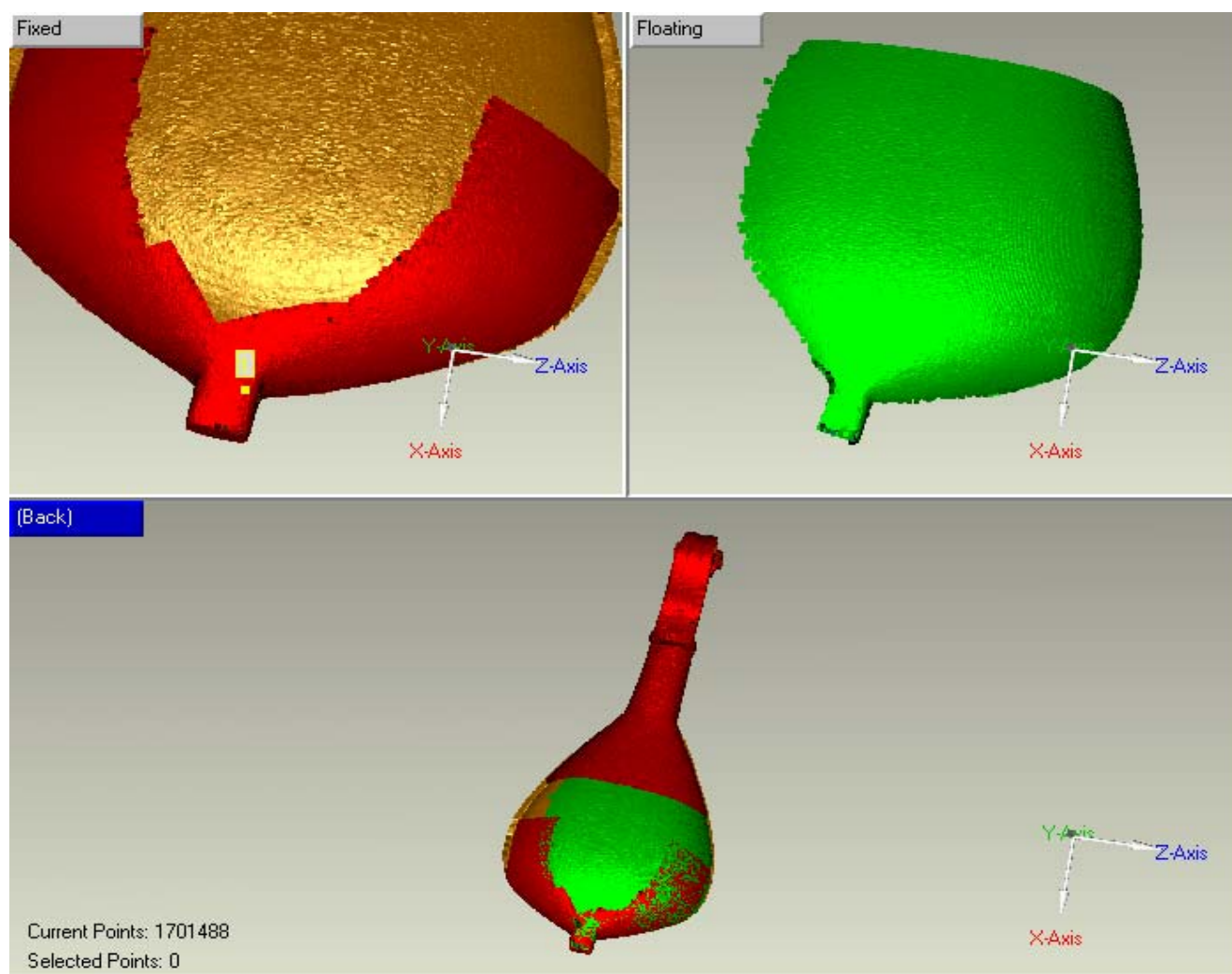
Εικόνα 6.8 Διαδικασία ευθυγράμμισης σαρώσεων (Manual Registration)



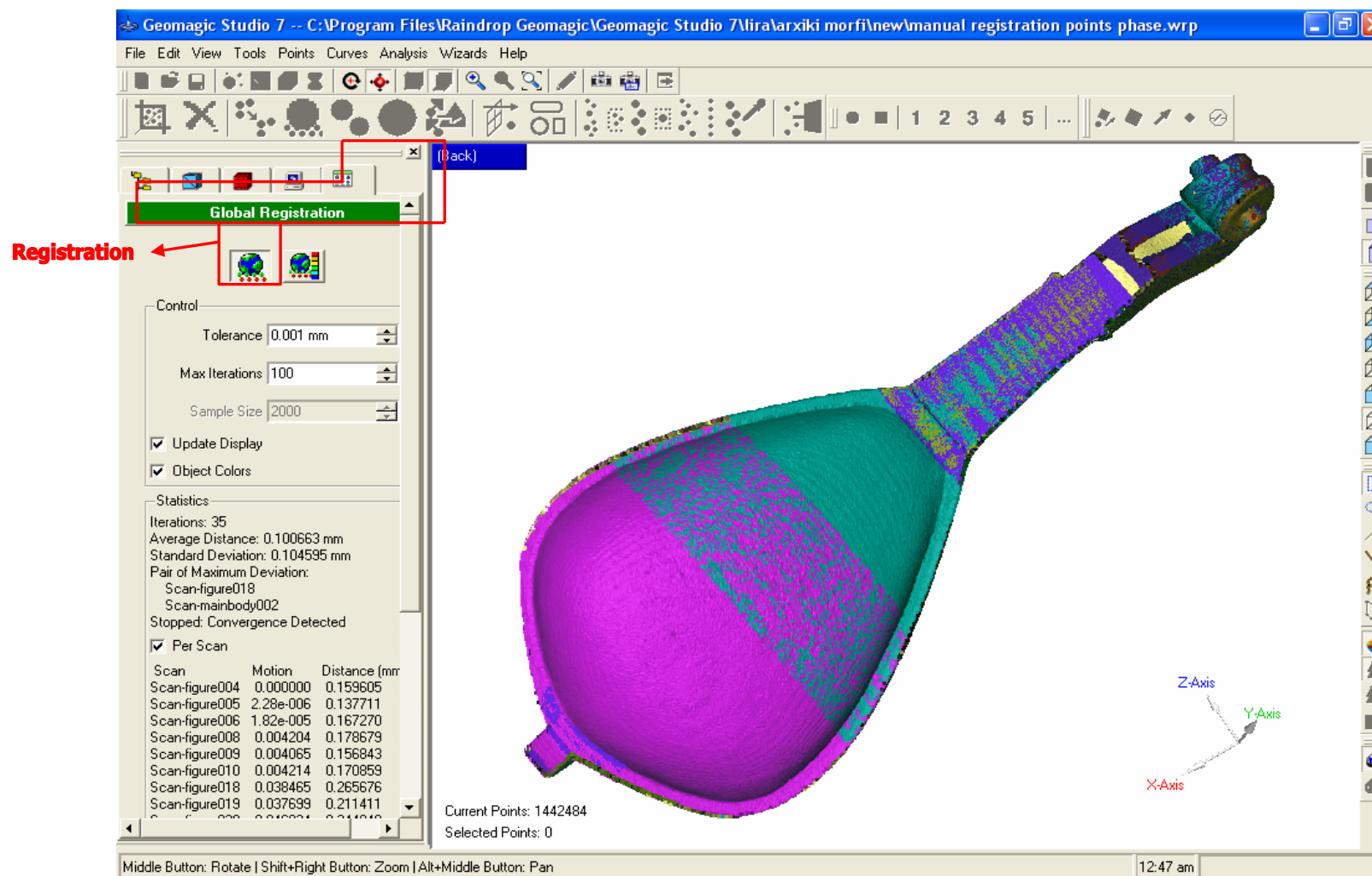
Εικόνα 6.9 Διαδικασία ευθυγράμμισης σαρώσεων (Manual Registration)



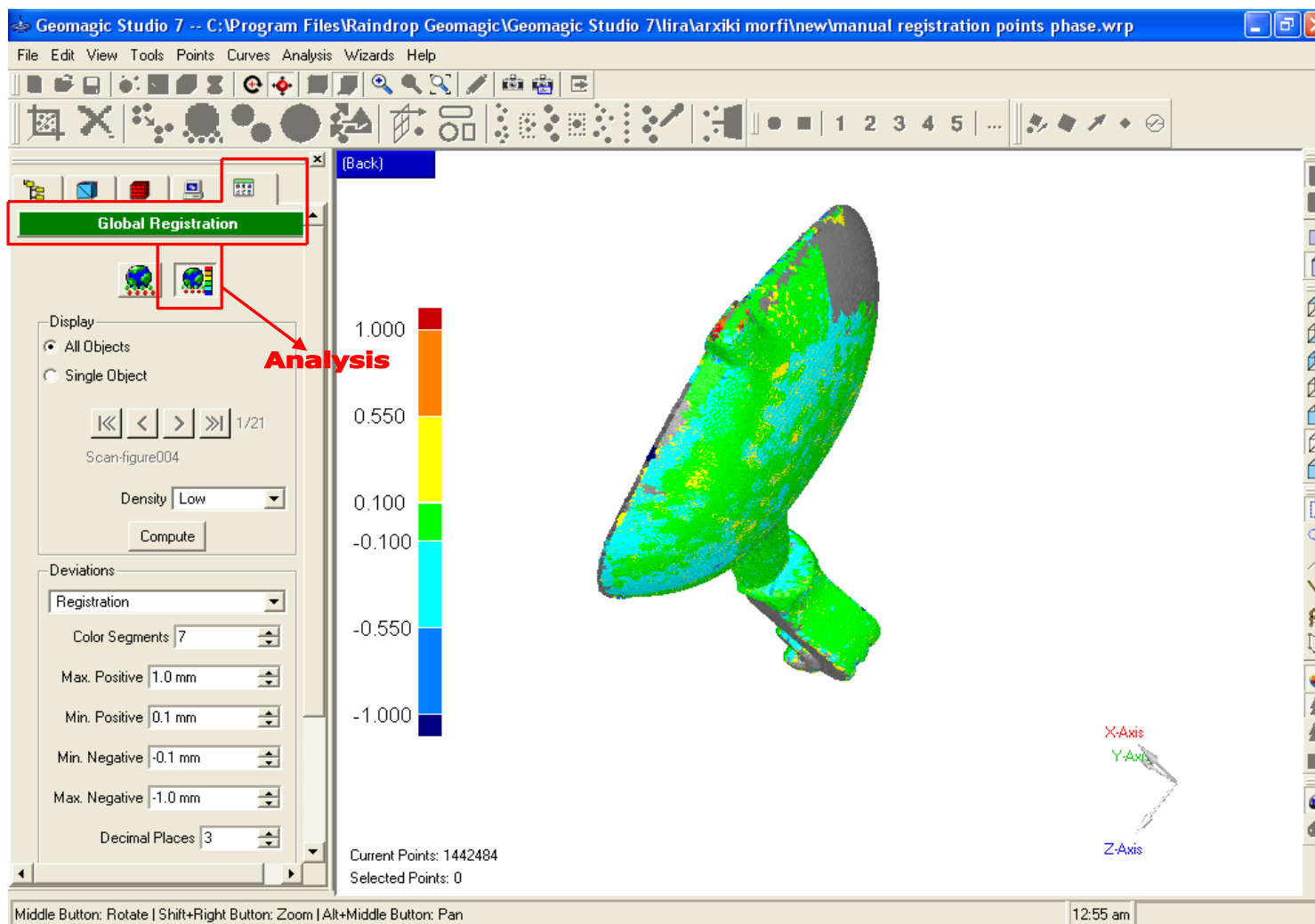
Εικόνα 6.10 Διαδικασία ευθυγράμμισης σαρώσεων (Manual Registration)



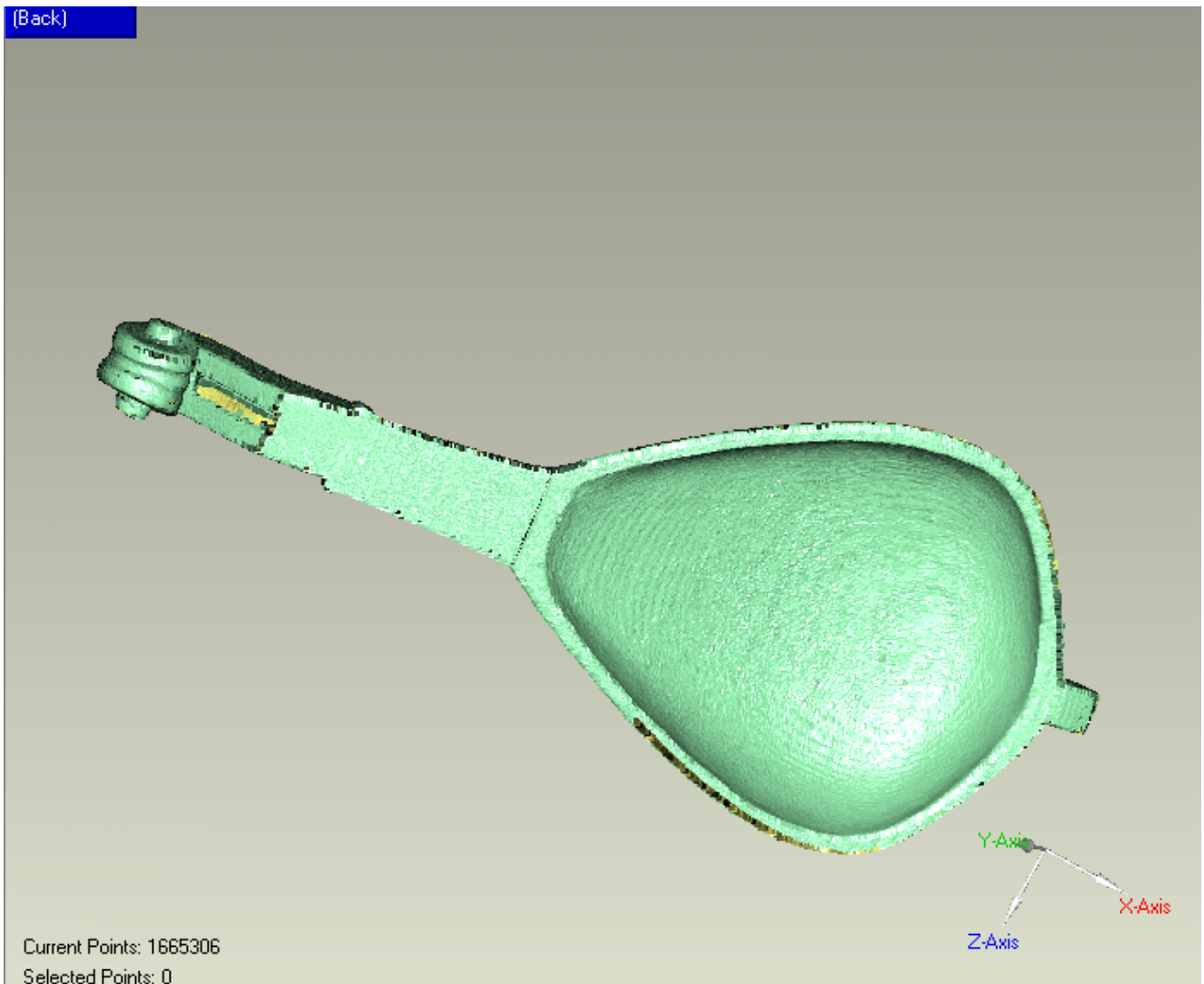
Εικόνα 6.11 Διαδικασία ευθυγράμμισης σαρώσεων (Manual Registration)



Εικόνα 6.12 Διαδικασία ευθυγράμμισης σαρώσεων (Global Registration)



Εικόνα 6.13 Διαδικασία ευθυγράμμισης σαρώσεων (Global Registration - Analysis)

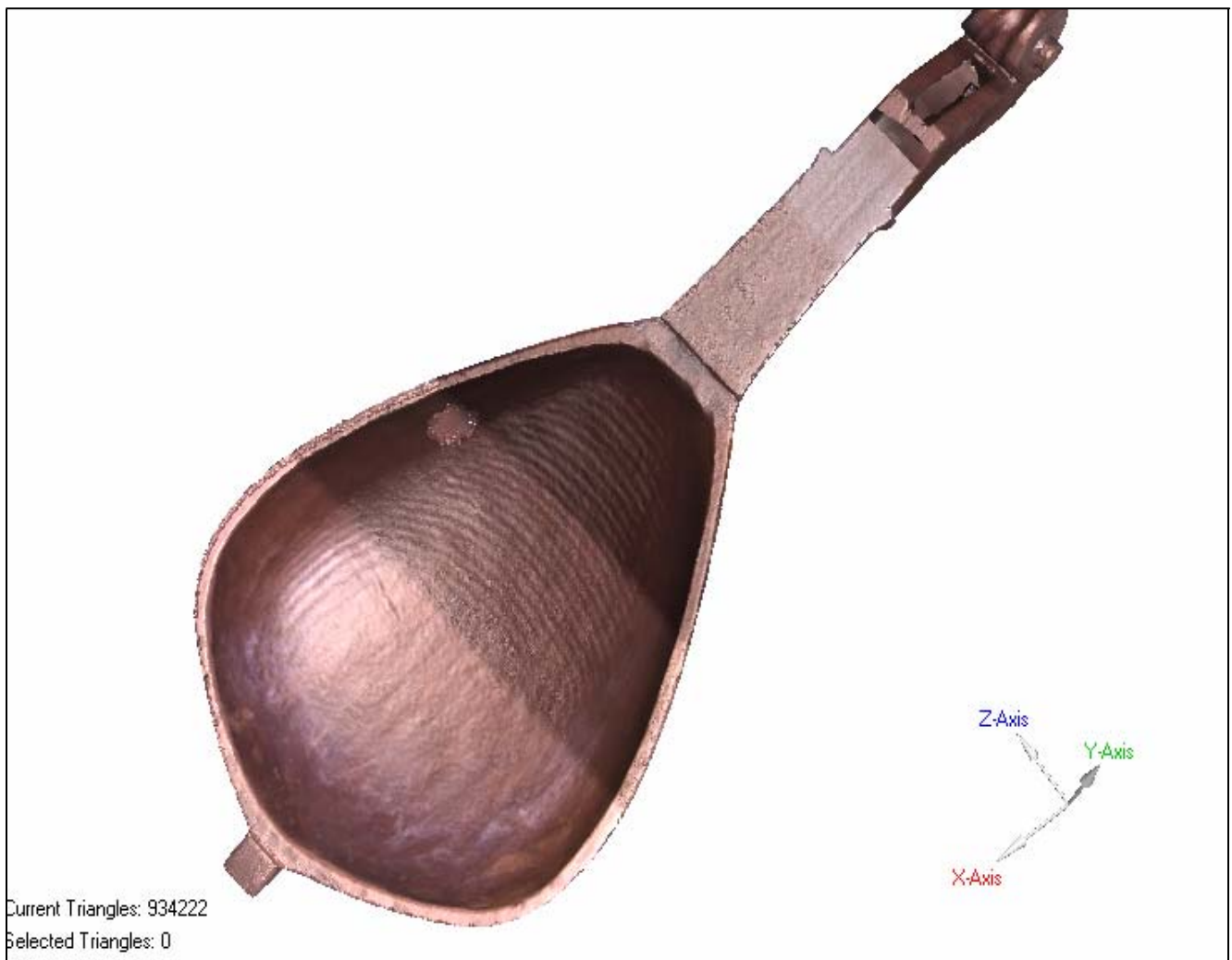


Εικόνα 6.14 Μορφή αντικειμένου μετά την ευθυγράμμιση

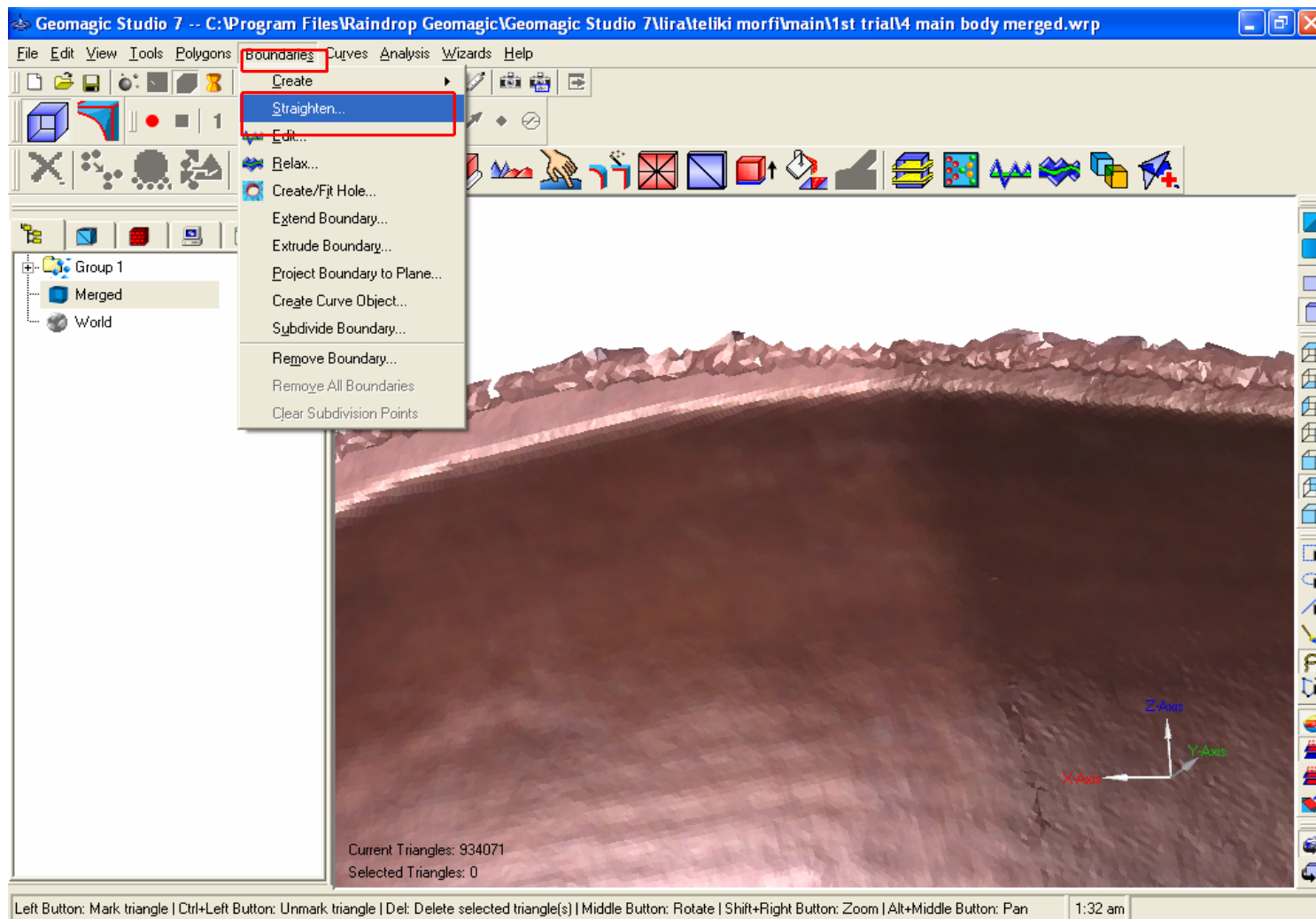
b) Φάση Πολυγώνων

Έπειτα από τις παραπάνω γνωστές διαδικασίες συνεχίζουμε με την συγχώνευση και πολυγωνοποίηση (merge) των σημείων του κυρίου μέρους της λύρας. Στις ρυθμίσεις για τον αριθμό των τριγώνων ακολουθούμε περίπου την ίδια στρατηγική, ζητάμε δηλαδή το 50% περίπου του αρχικού νέφους σημείων. Μετά συνεχίζουμε με το γέμισμα όλων των οπών (εκτός από μία που θα παρουσιάσουμε παρακάτω ως ειδική περίπτωση), αφού πρώτα καθαρίσουμε το τριγωνικό πλέγμα (Clean, Remove Spikes). Λόγω του λεπτού πάχους του αντικειμένου στα όριά του, κατά τη διάρκεια της τριγωνοποίησης δημιουργήθηκαν πολλά τρίγωνα τα οποία δεν έδιναν σωστή μορφή στο αντικείμενο. Τα τρίγωνα αυτά διαγράφηκαν και συμπληρώθηκαν εκ νέου τα

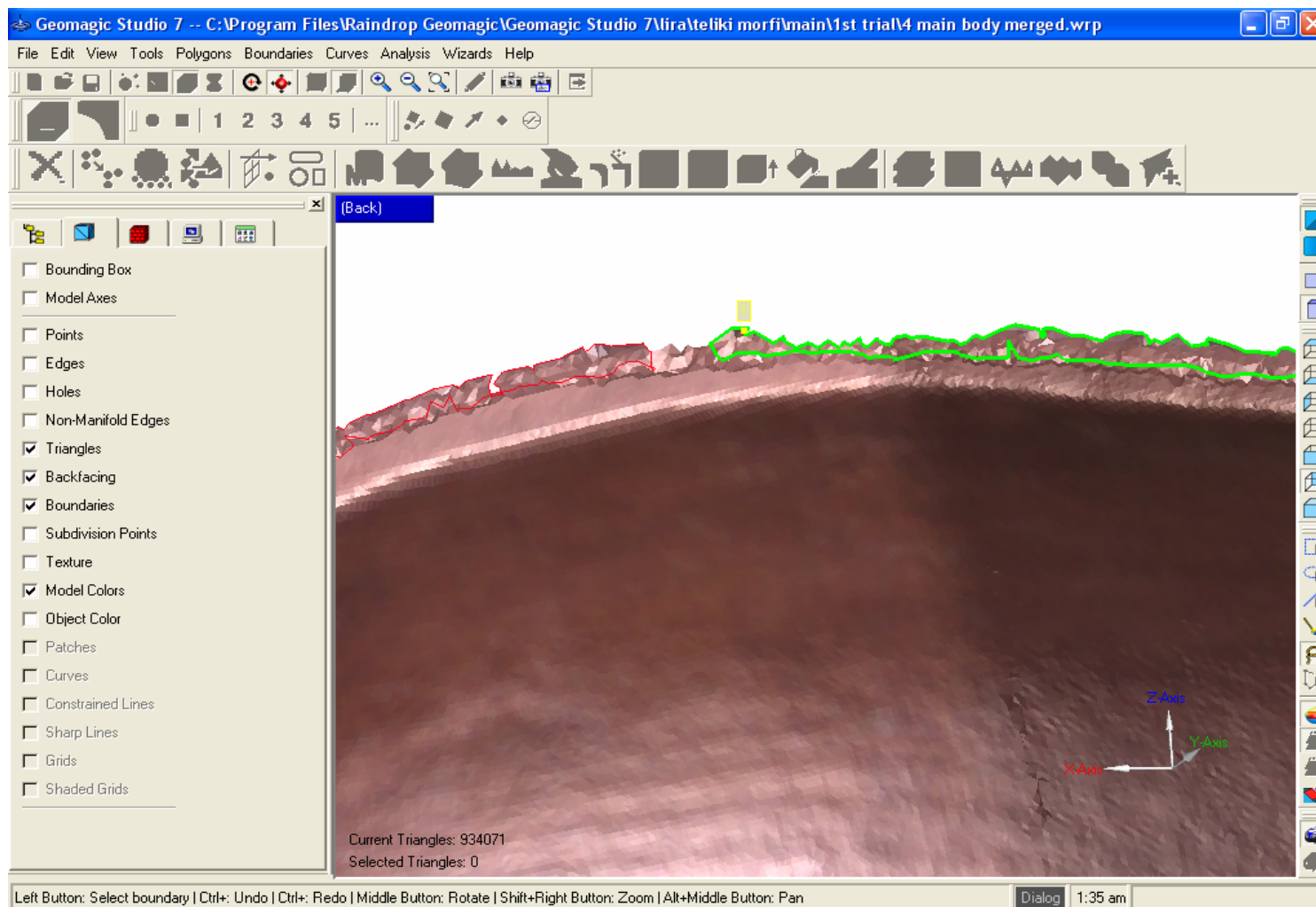
κενά. Μια πολύ χρήσιμη εντολή που μας βοήθησε στα όρια του αντικειμένου είναι η Straighten Boundaries. Η εντολή αυτή δημιουργεί μια ευθεία γραμμή μεταξύ δύο σημείων που ορίζουμε εμείς με το δείκτη, στα σημεία που αναγνωρίζει ως περιβάλλουσα επιφάνεια μιας οπής (στα όριά της). Με την εντολή αυτή διορθώσαμε τα τμήματα όπου είχαν ατέλειες ή άλλα τρίγωνα στα όριά του αντικειμένου που δημιουργούσαν ασυνέχειες. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα.



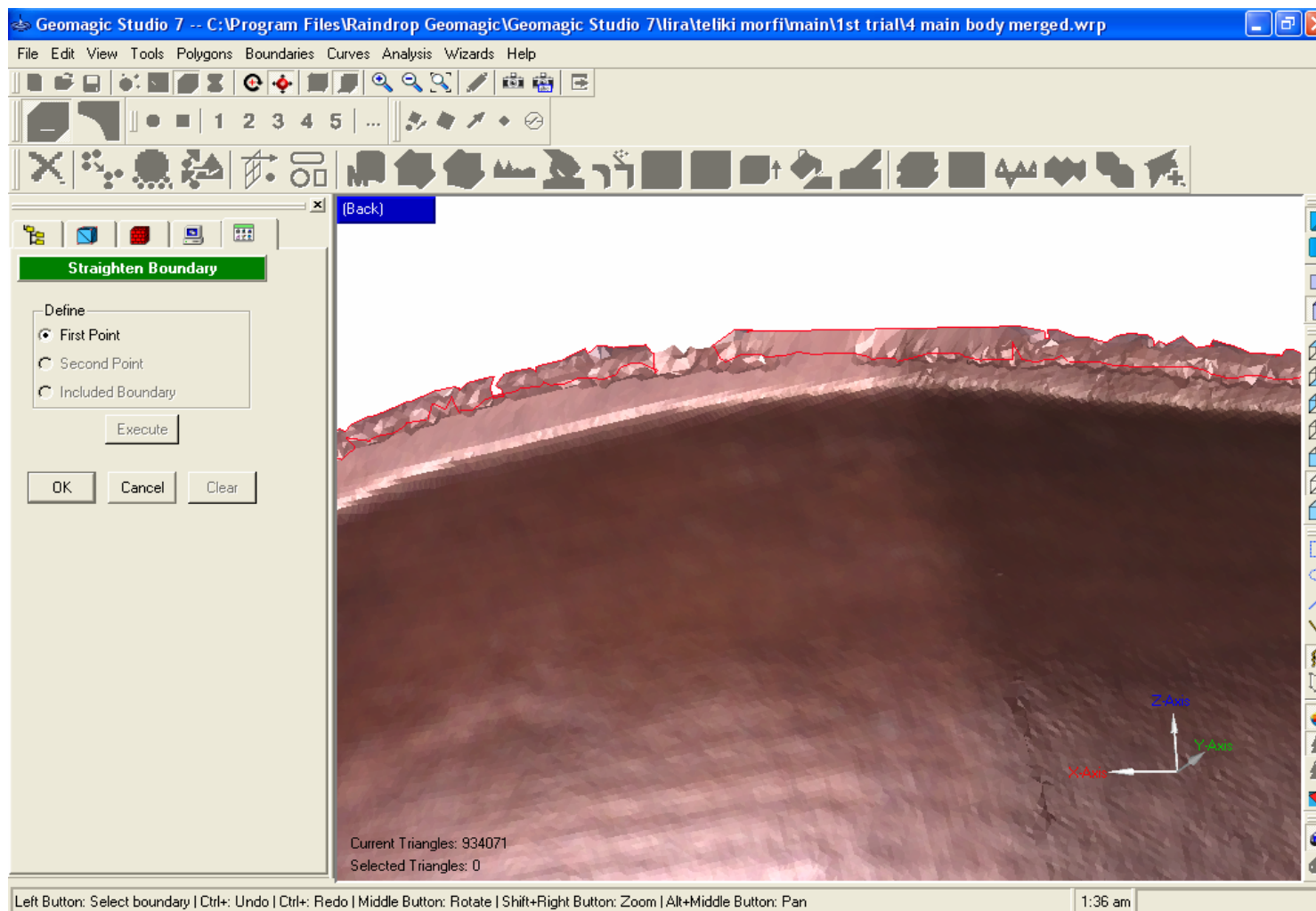
Εικόνα 6.15 Μορφή αντικειμένου μετά την διαδικασία merge



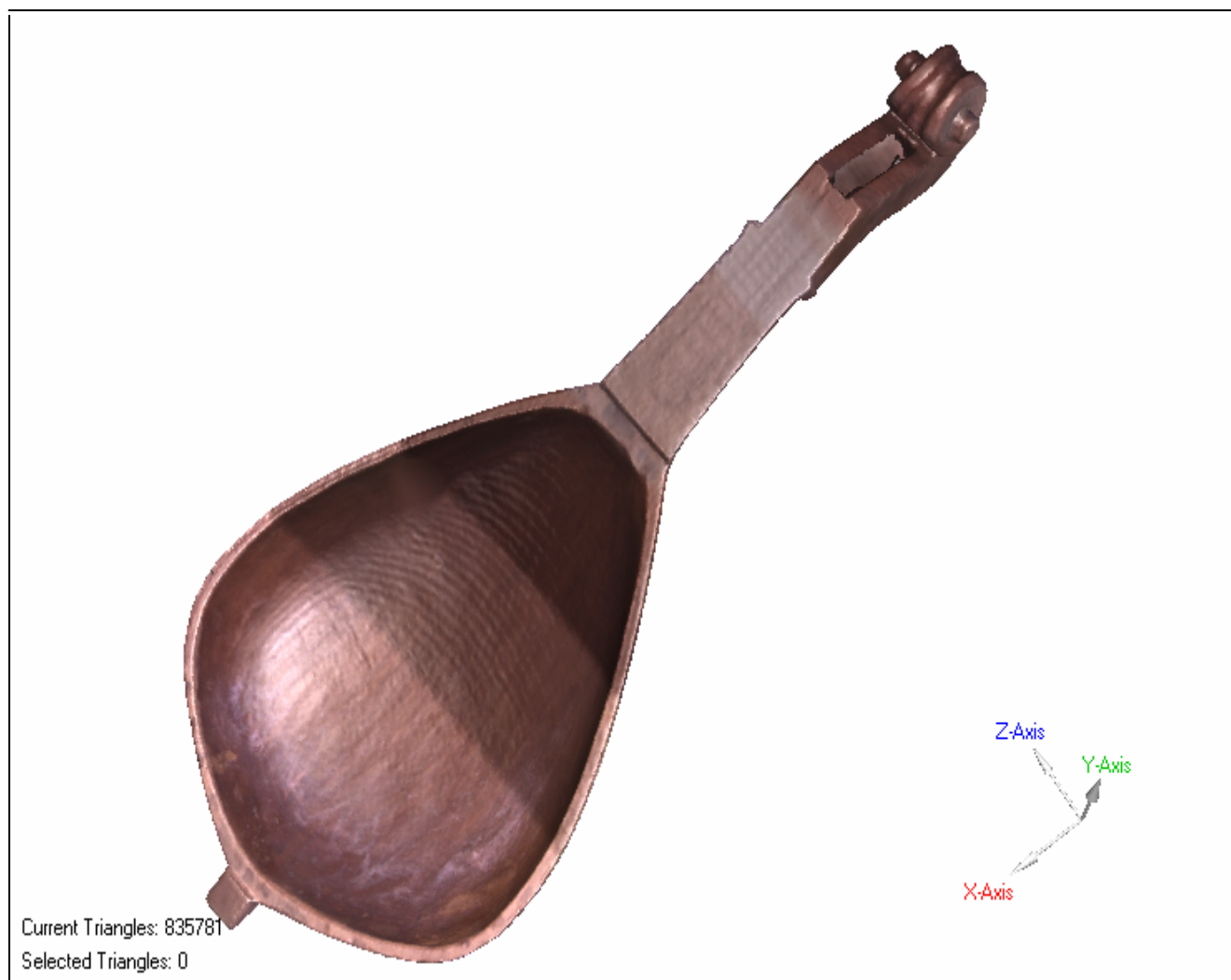
Εικόνα 6.16 Παρουσίαση της εντολής Straighten Boundaries



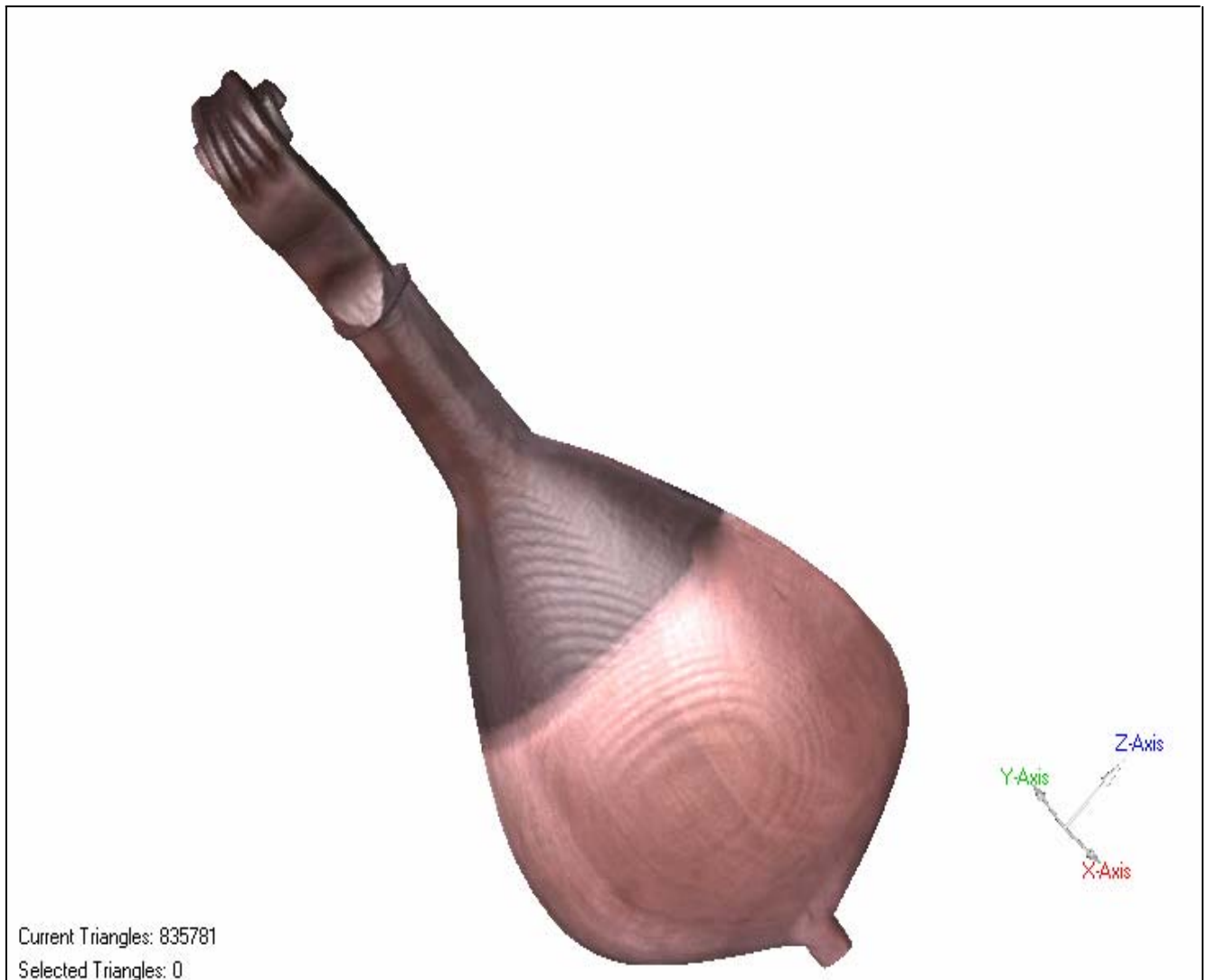
Εικόνα 6.17 Παρουσίαση της εντολής Straighten Boundaries



Εικόνα 6.18 Αποτέλεσμα της εντολής Straighten Boundaries



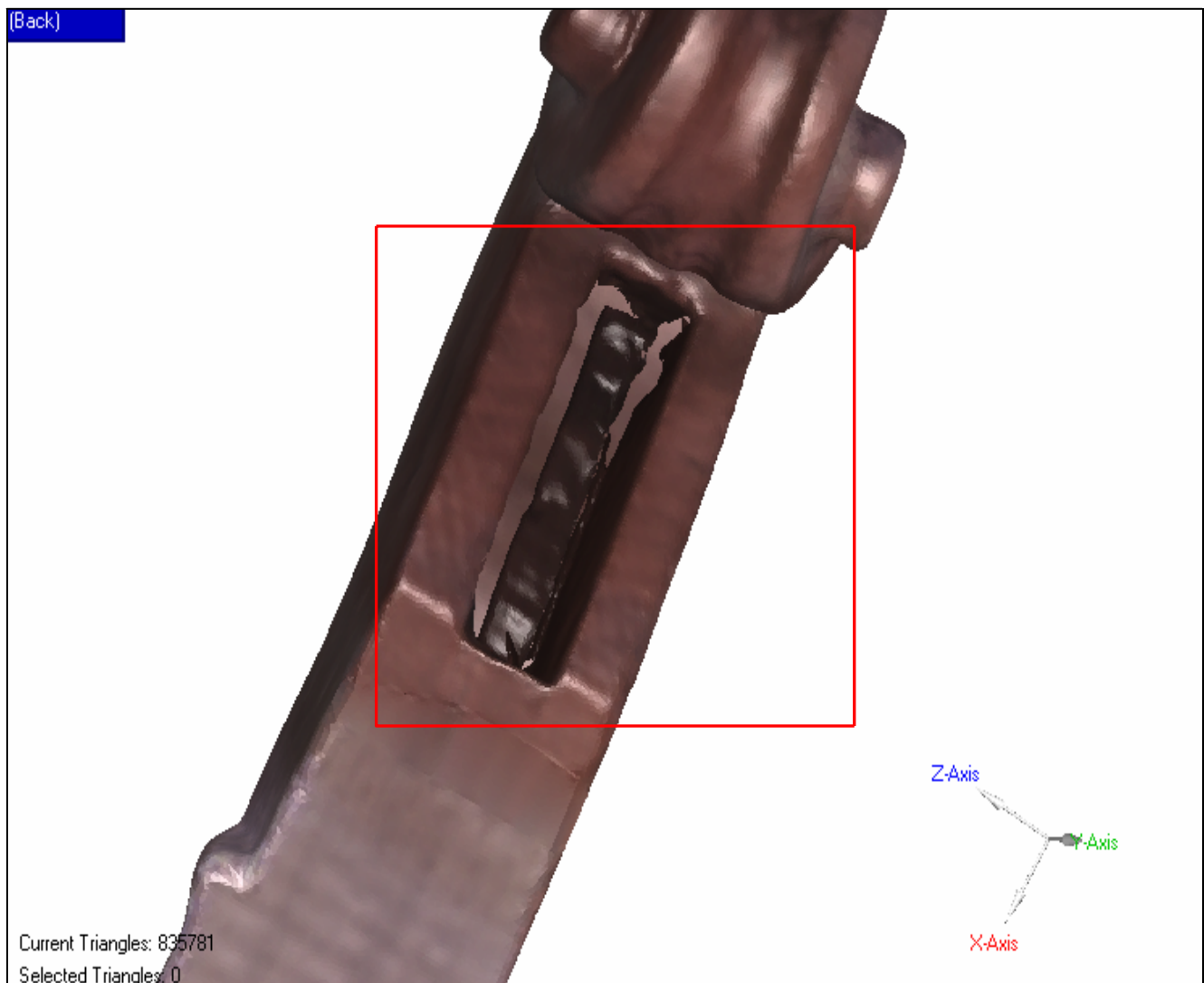
Εικόνα 6.19 Μορφή αντικειμένου μετά την διαδικασία fill holes



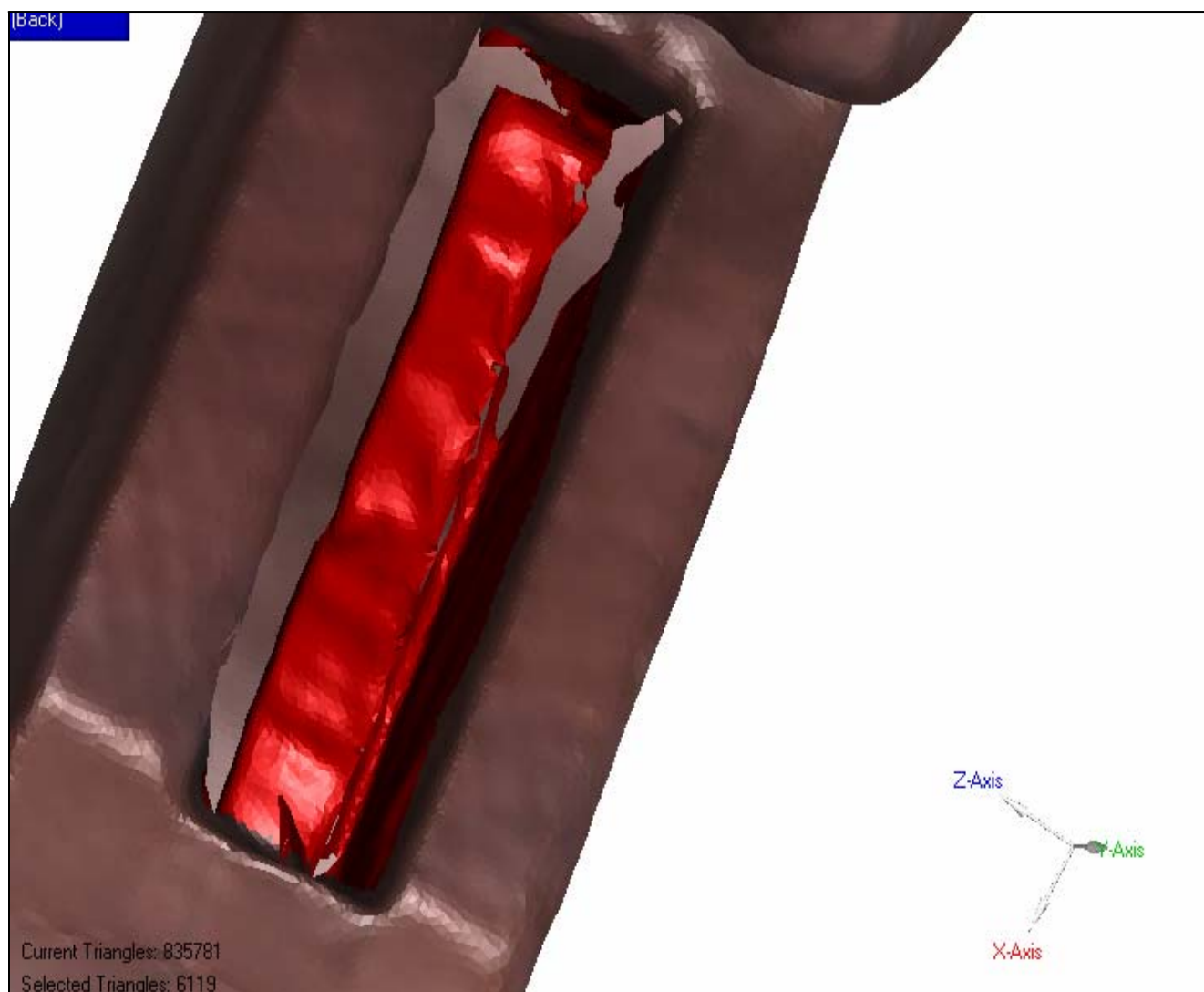
Εικόνα 6.20 Μορφή αντικειμένου μετά την διαδικασία fill holes

Έχουμε γεμίσει όλες τις οπές εκτός από μία που έχει ιδιαίτερη γεωμετρία. Η οπή αυτή βρίσκεται στο πάνω τμήμα της λύρας (φαίνεται στο παρακάτω σχήμα). Για να γεμίσουμε την οπή αυτή και έχοντας κατά νου την πραγματική εικόνα του αντικειμένου, κάνουμε τα εξής:

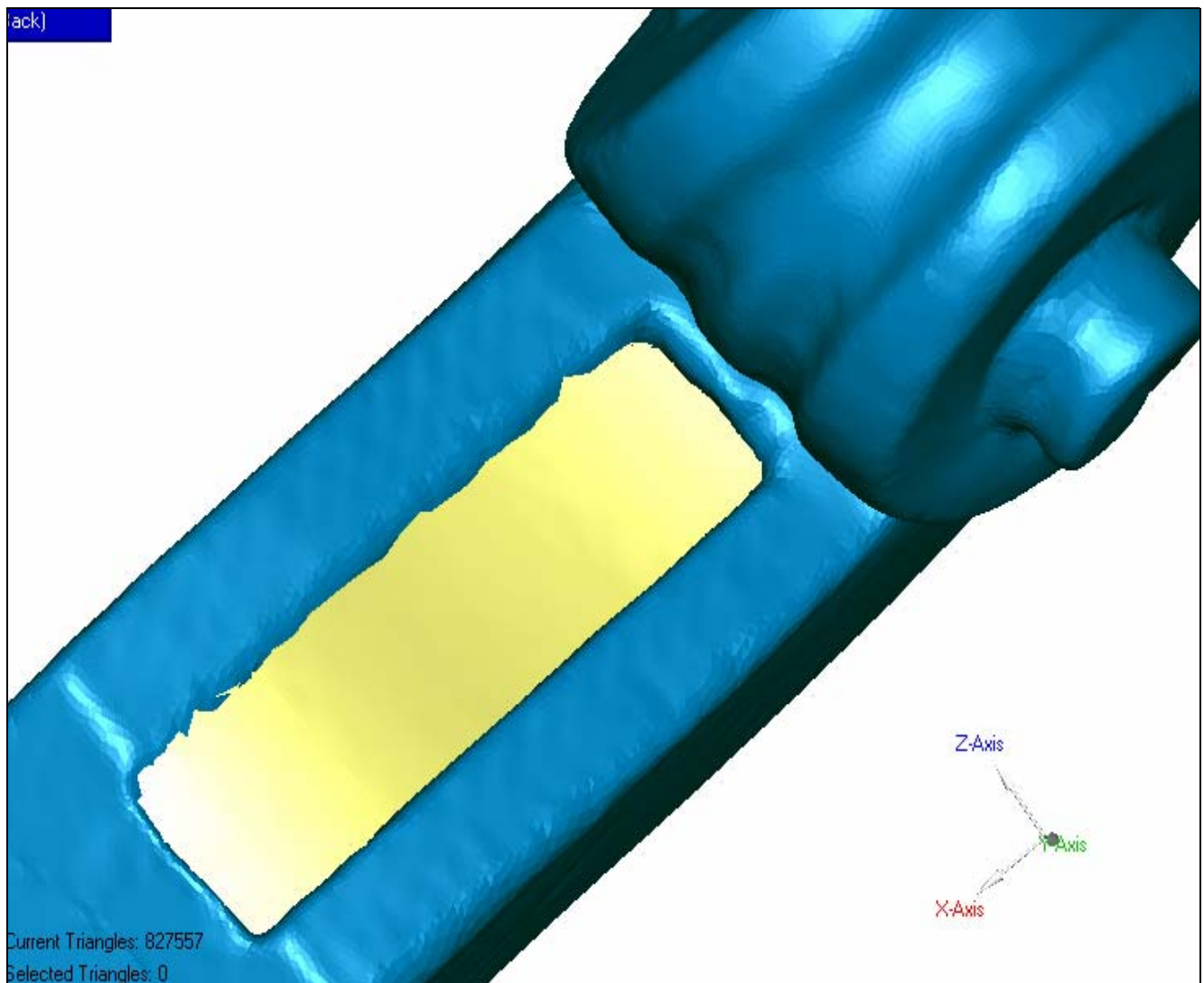
- Την καθαρίζουμε από τα περιττά τρίγωνα
- Εφαρμόζουμε την εντολή Straighten Boundaries γύρω από τα όρια της
- Εκτελούμε την εντολή Extrude Boundaries αφού πρώτα έχουμε μετρήσει το βάθος της οπής, μιας και το χρειαζόμαστε ως δεδομένο για τις ρυθμίσεις



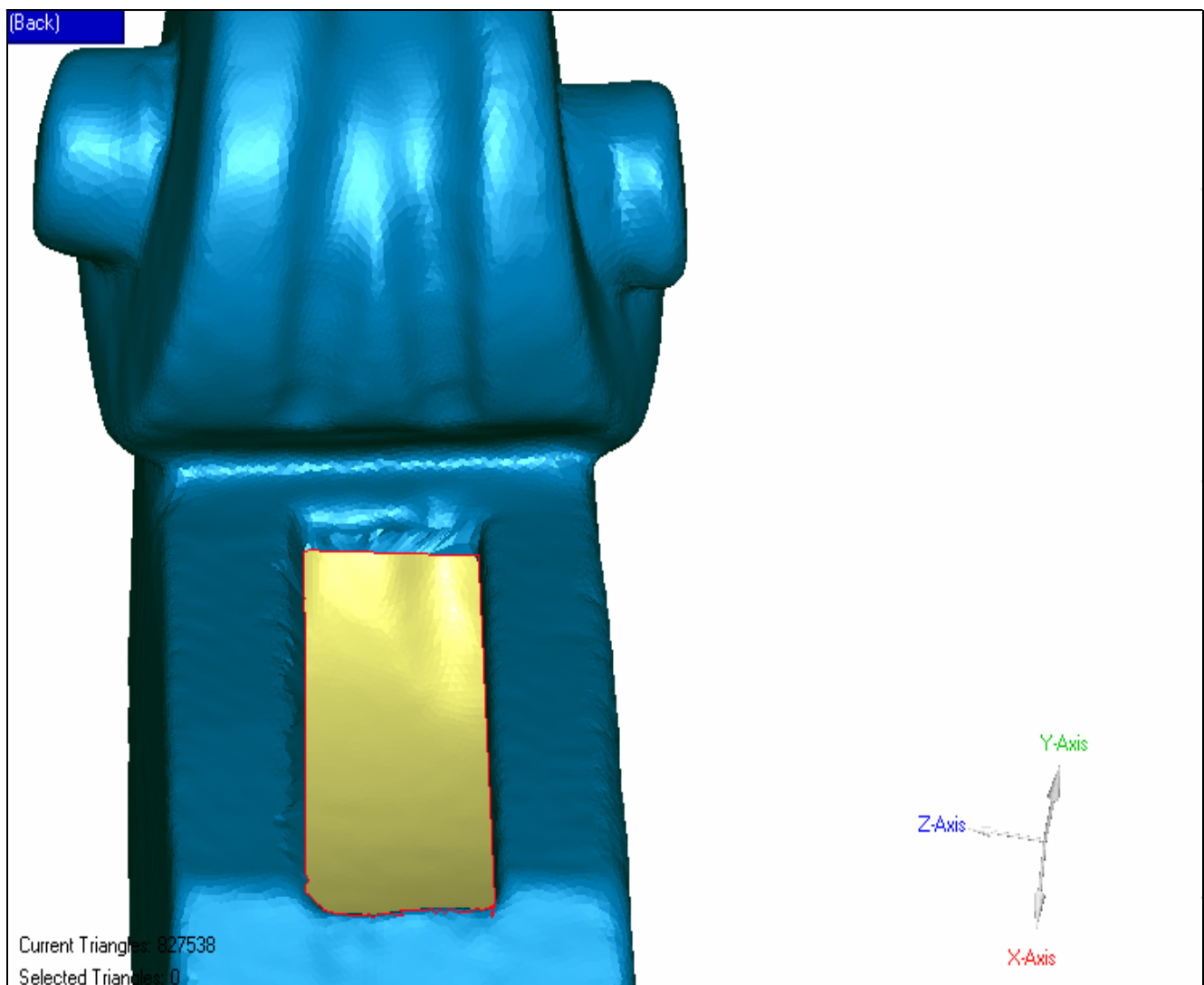
Εικόνα 6.21 Οπή που θέλουμε να γεμίσουμε



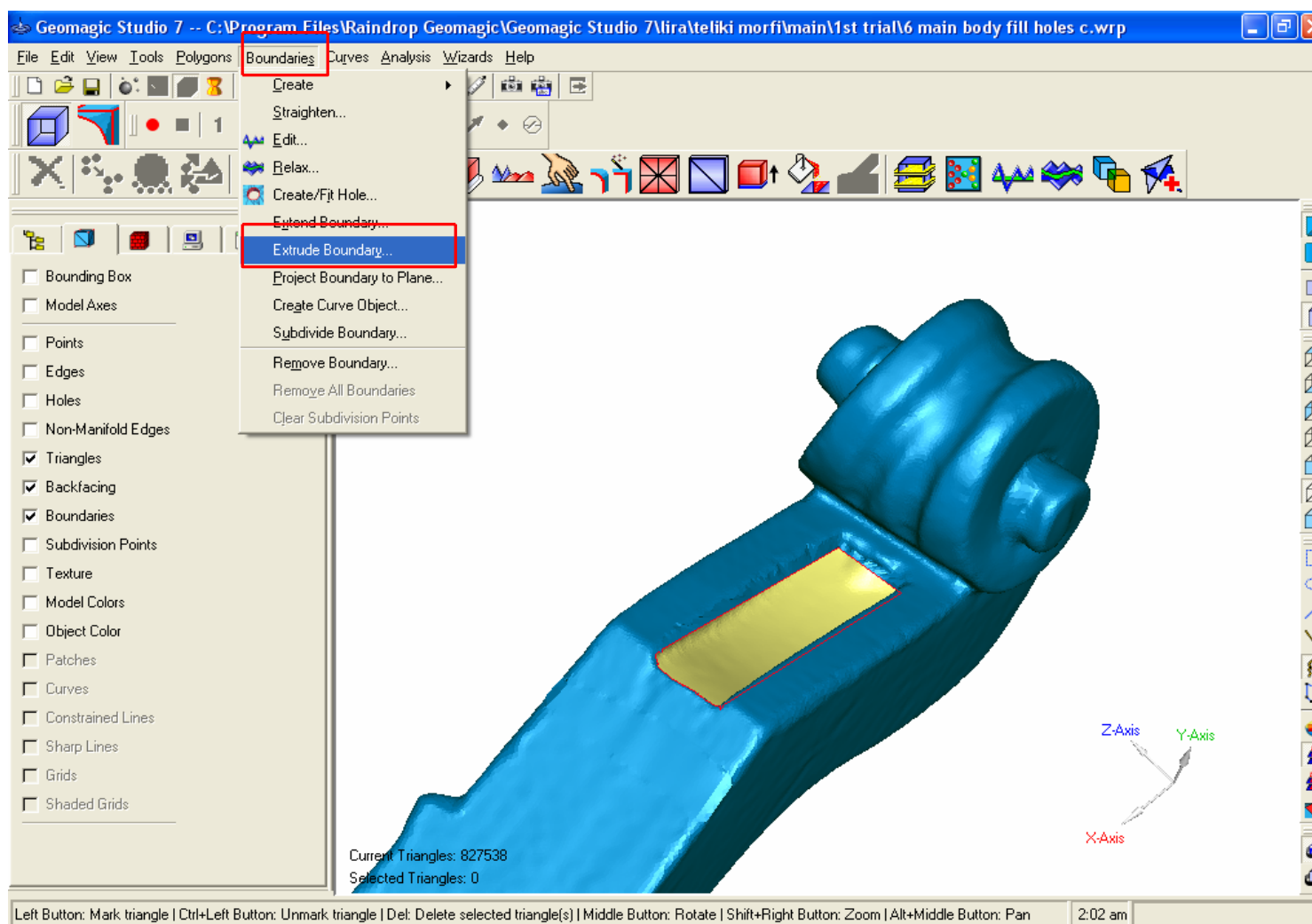
Εικόνα 6.22 Επιλογή περιττών σημείων



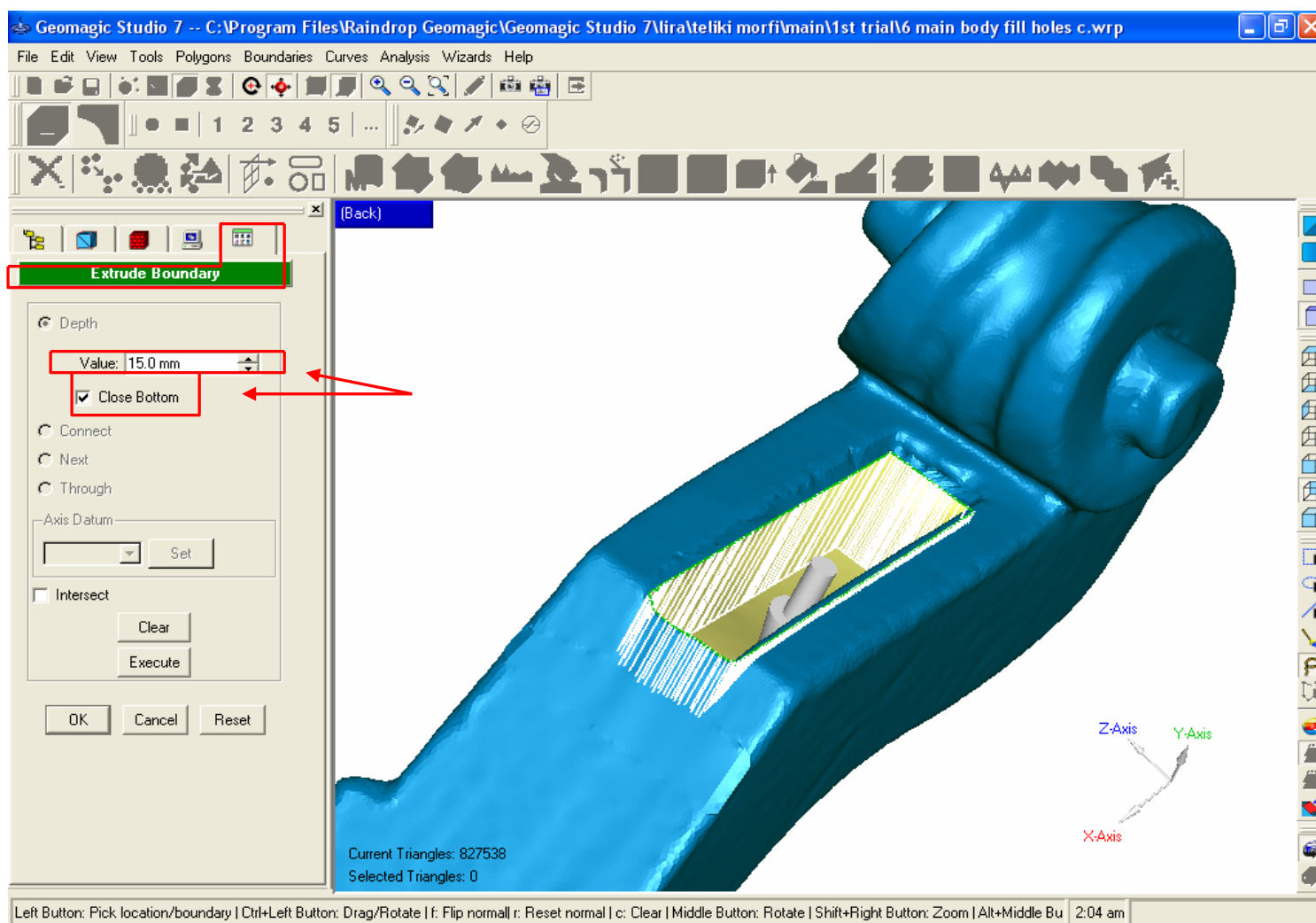
Εικόνα 6.23 Διαγραφή περιττών σημείων



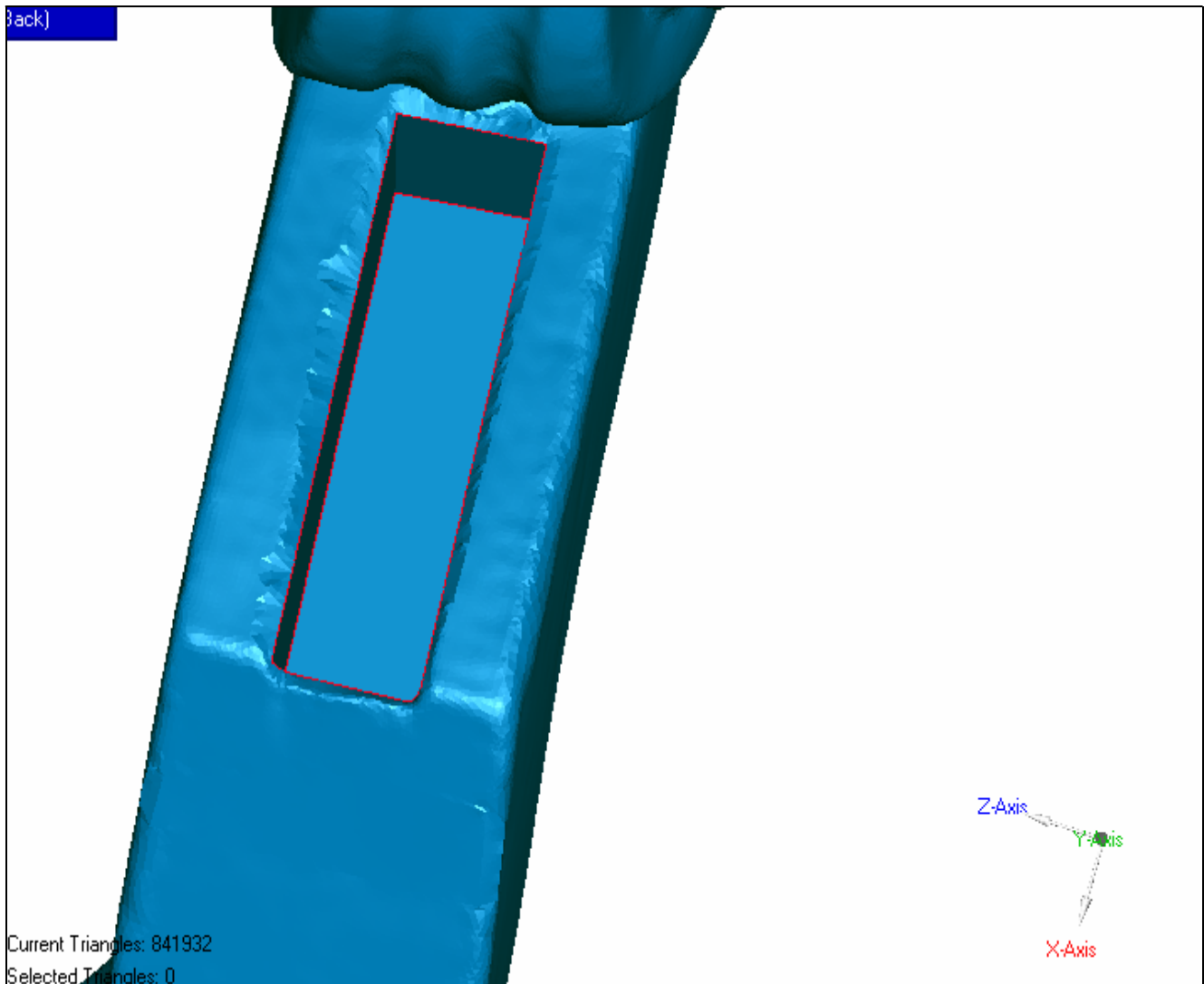
Εικόνα 6.24 Μετά το Straighten Boundaries



Εικόνα 6.25 Παρουσίαση της εντολής Extrude Boundary



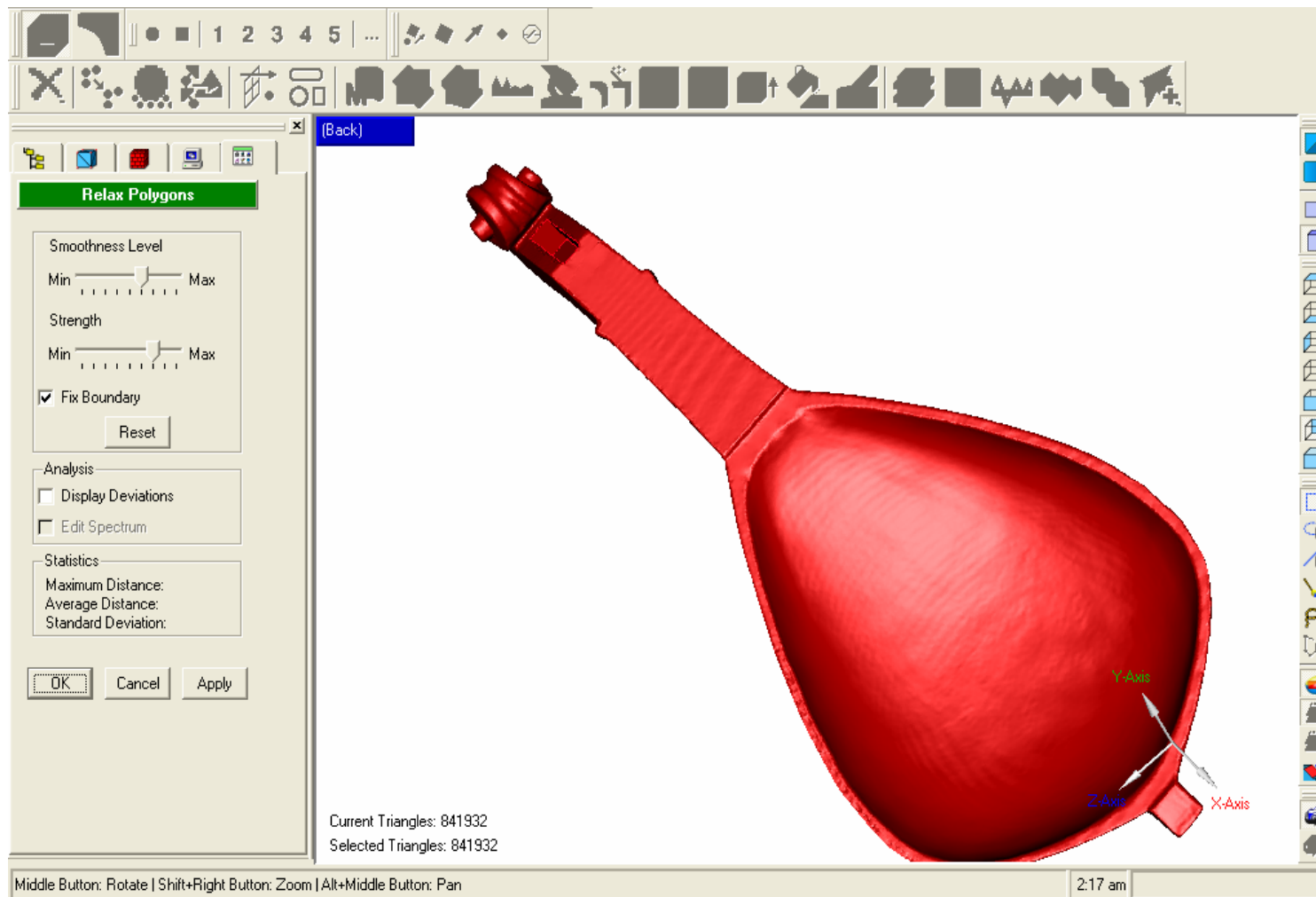
Εικόνα 6.26 Παρουσίαση της εντολής Extrude Boundary



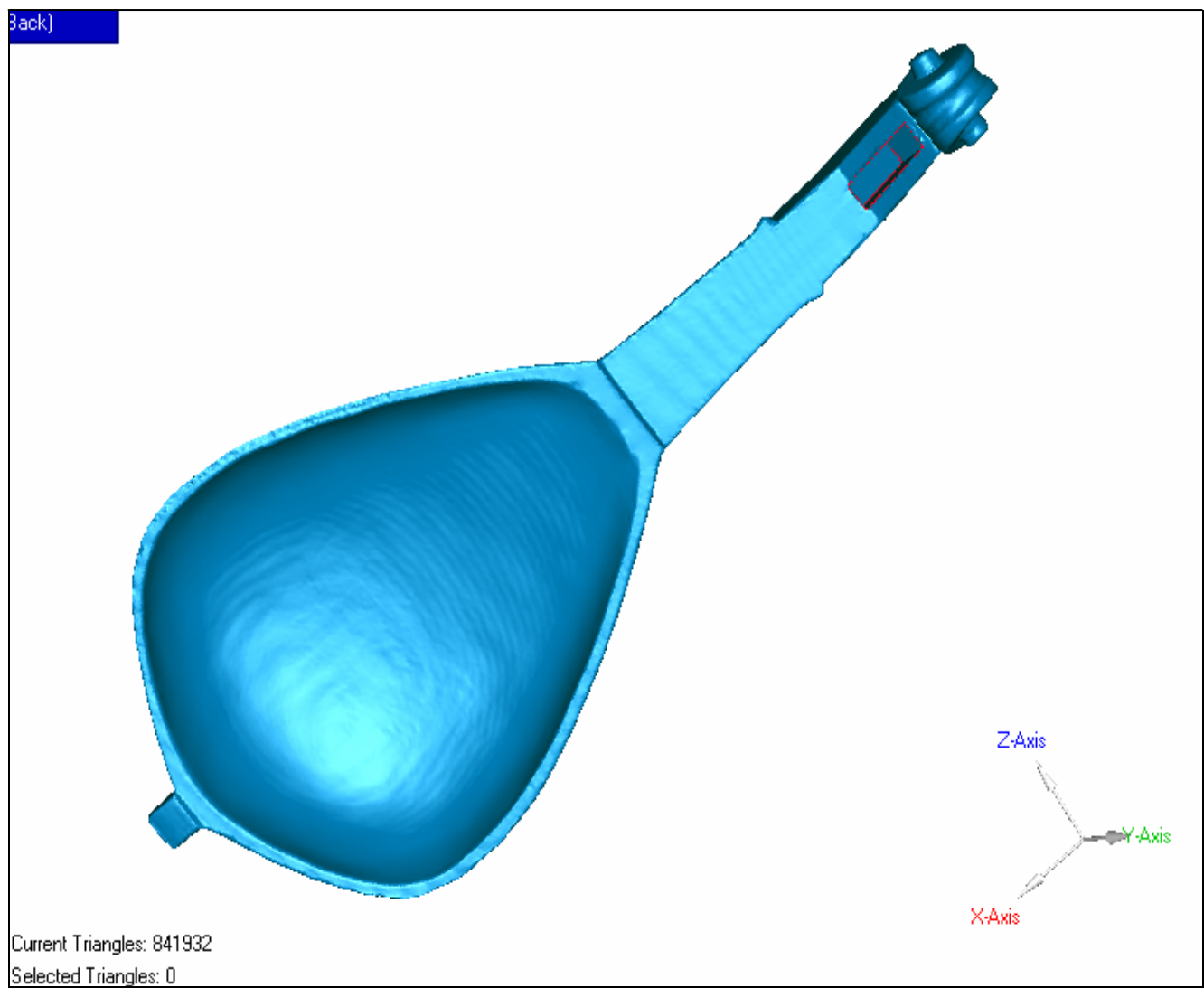
Εικόνα 6.27 Αποτέλεσμα της εντολής Extrude Boundary

c) Τελική μορφή.

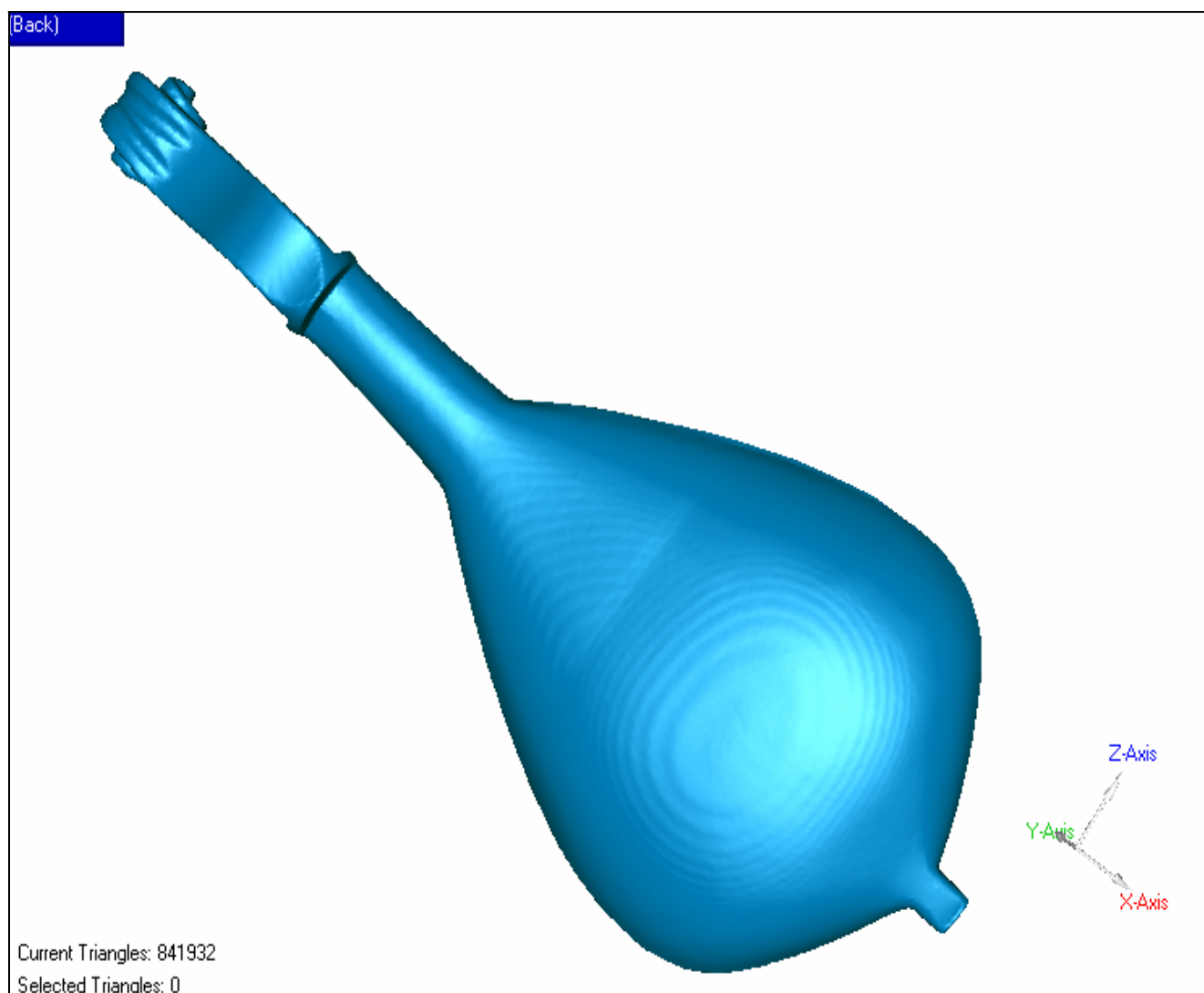
Συνεχίζουμε με έλεγχο για Intersections και με ομαλοποίηση της καμπύλης επιφάνειας του κυρίως μέρους της λύρας (Relax). Μετά και αυτή τη λειτουργία το μοντέλο μας είναι έτοιμο να εξαχθεί σε μορφή binary stl. Το μέγεθος του stl αρχείου είναι 40.1 MB. Παρουσιάζουμε επιπλέον την 3D Compare Analysis για κάποιες σαρώσεις, στις εικόνες που ακολουθούν.



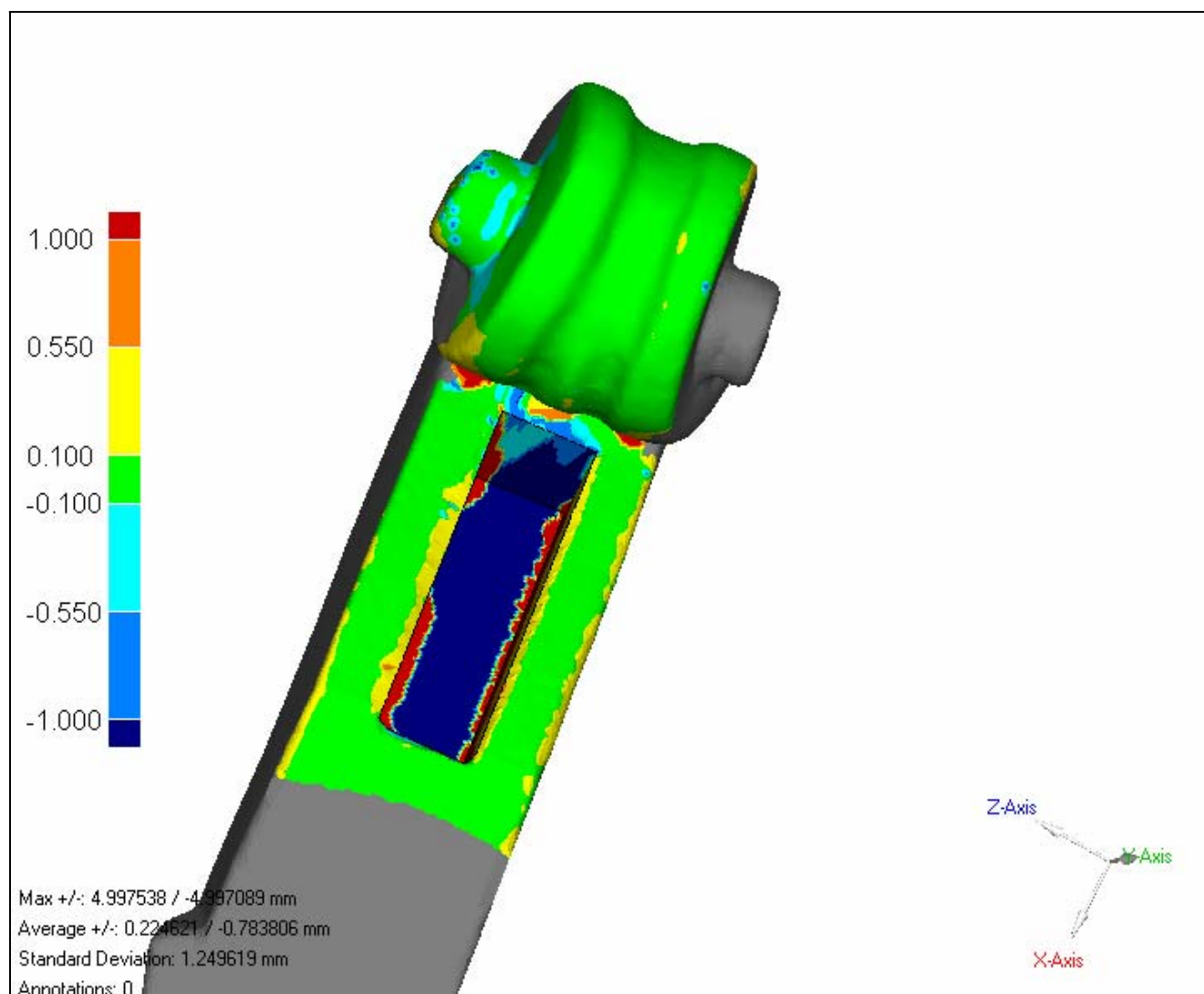
Εικόνα 6.28 Διαδικασία της εντολής Relax Polygons (ομαλοποίηση επιφάνειας)



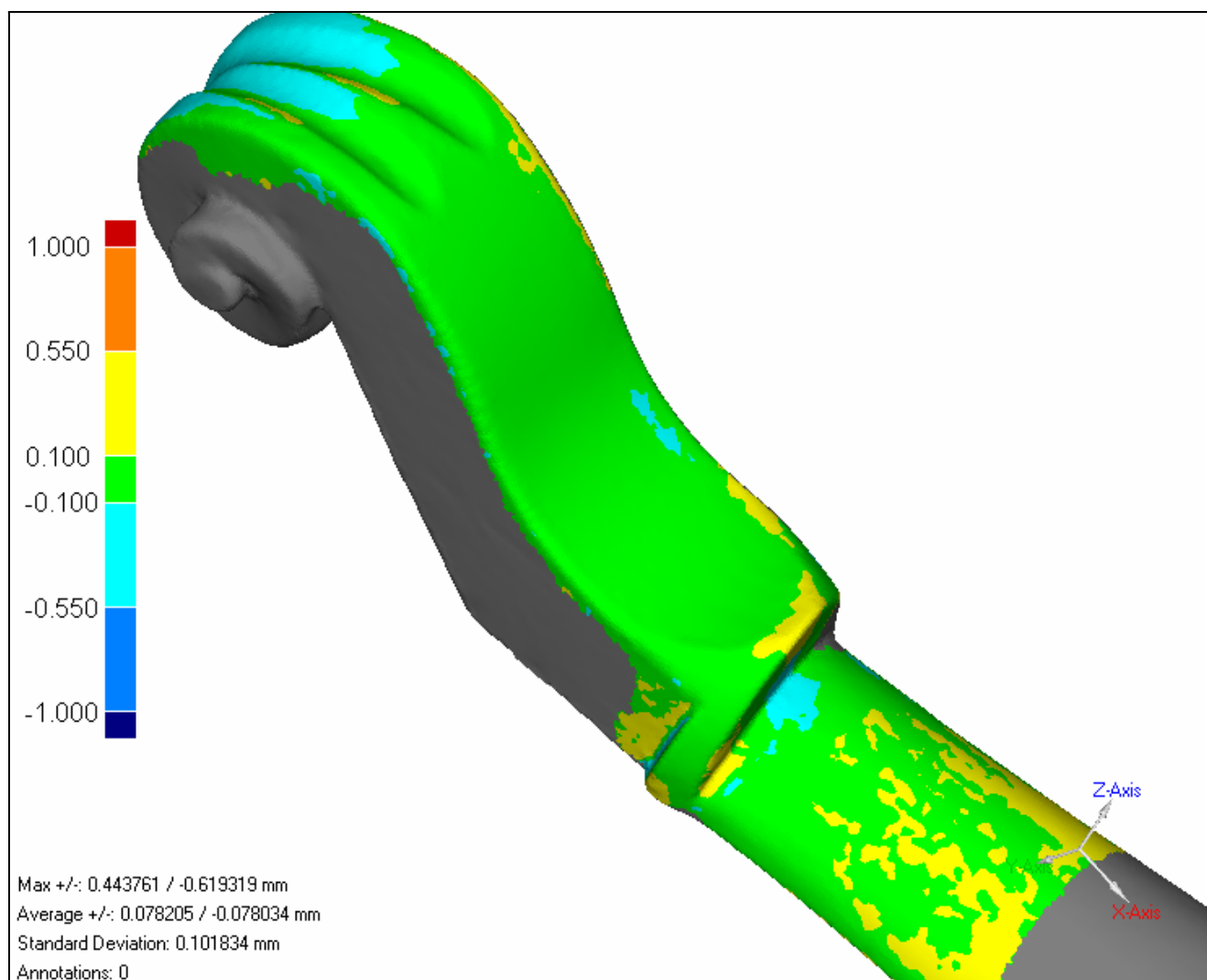
Εικόνα 6.29 Τελική επιφάνεια αντικειμένου



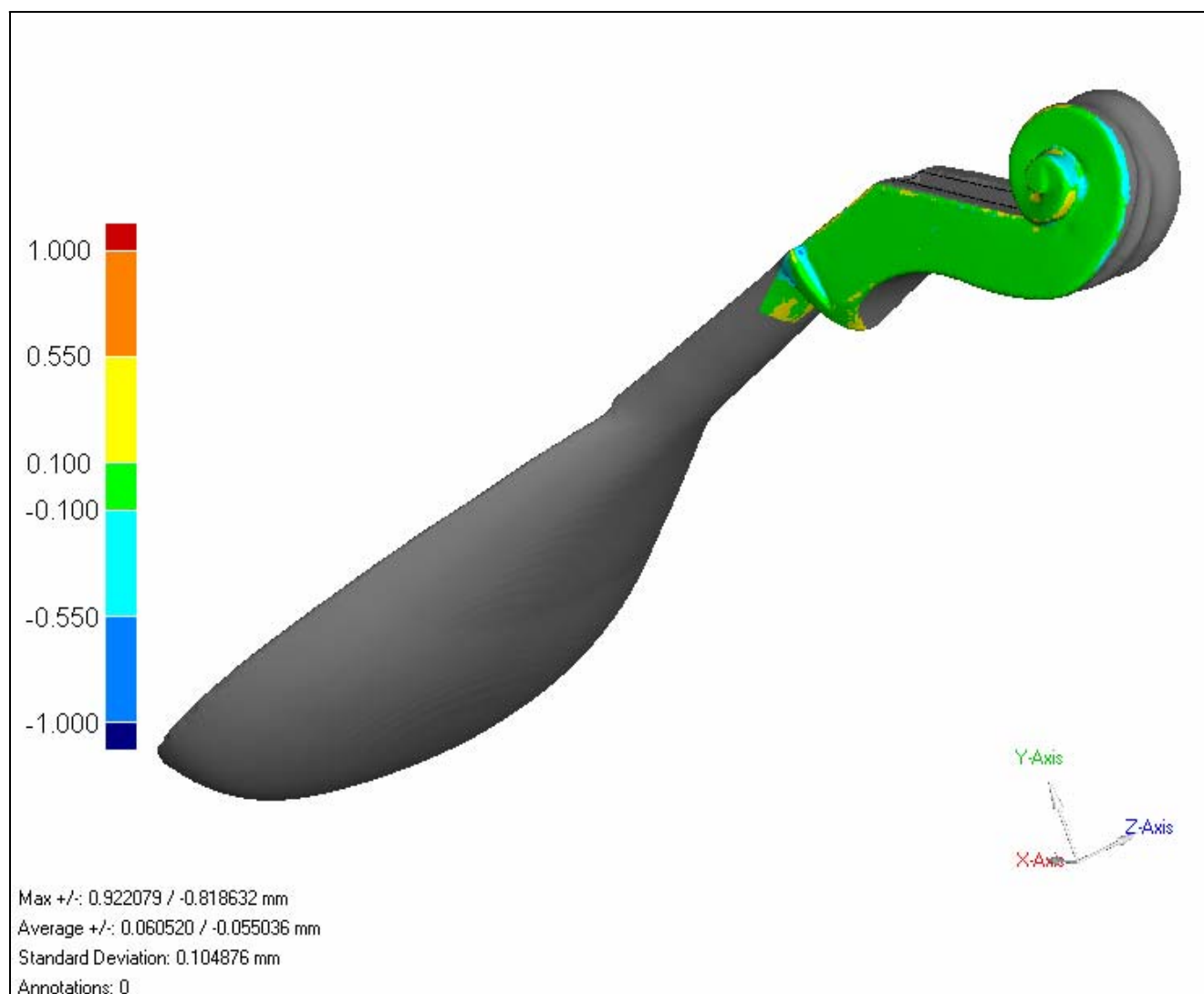
Εικόνα 6.30 Τελική επιφάνεια αντικειμένου



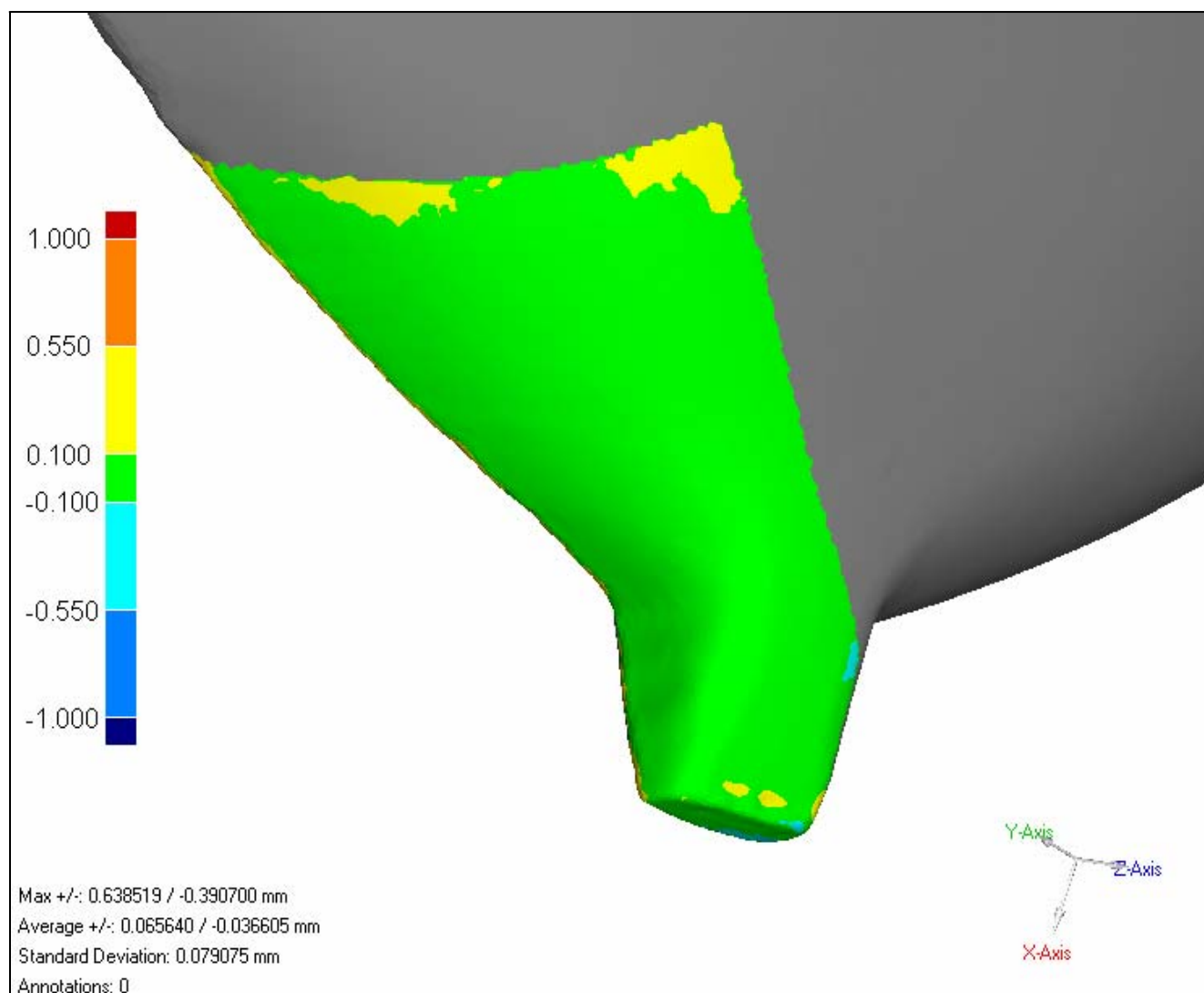
Εικόνα 6.31 - 3D Compare Analysis διαφόρων σαρώσεων



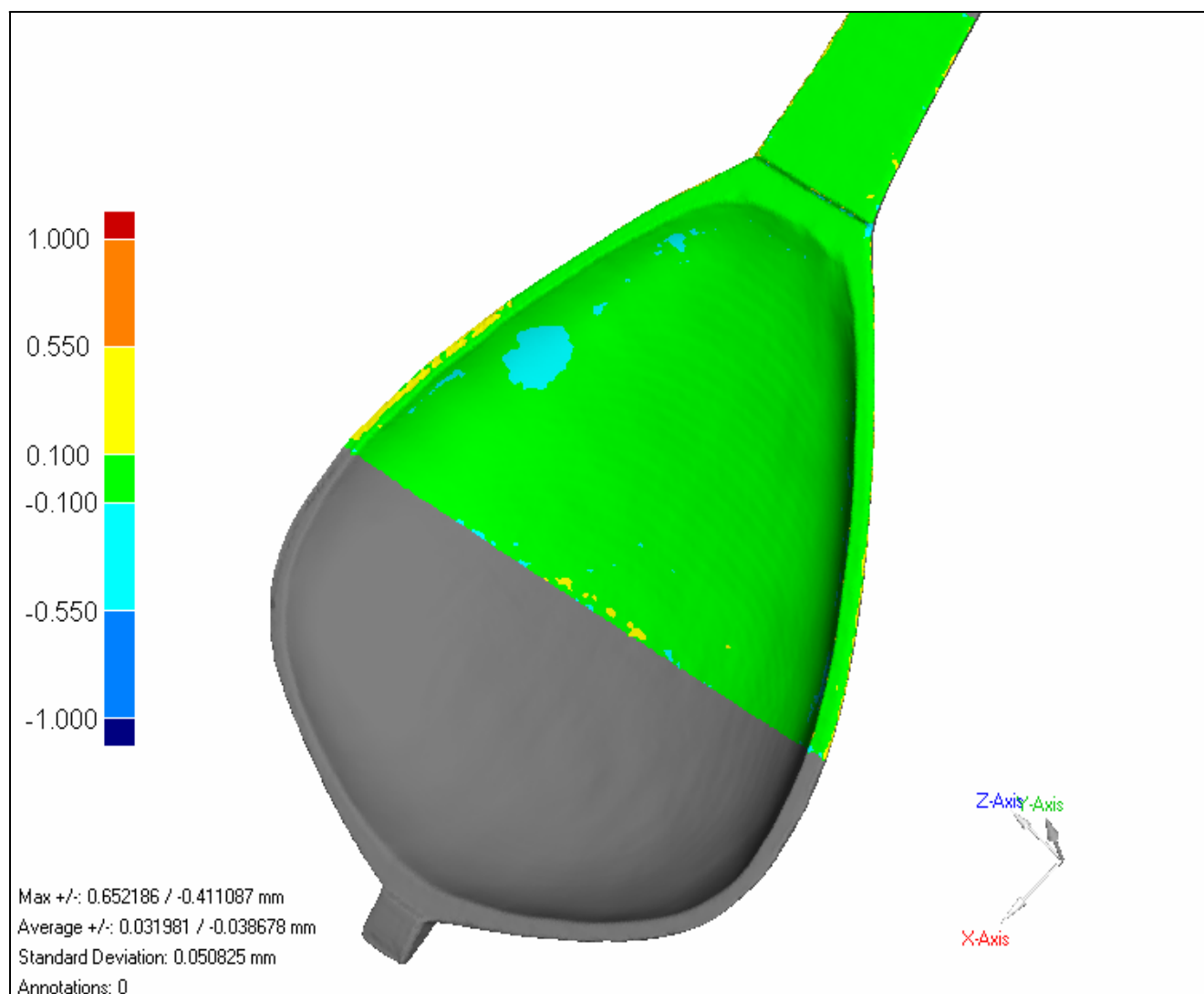
Εικόνα 6.32 - 3D Compare Analysis διαφόρων σαρώσεων



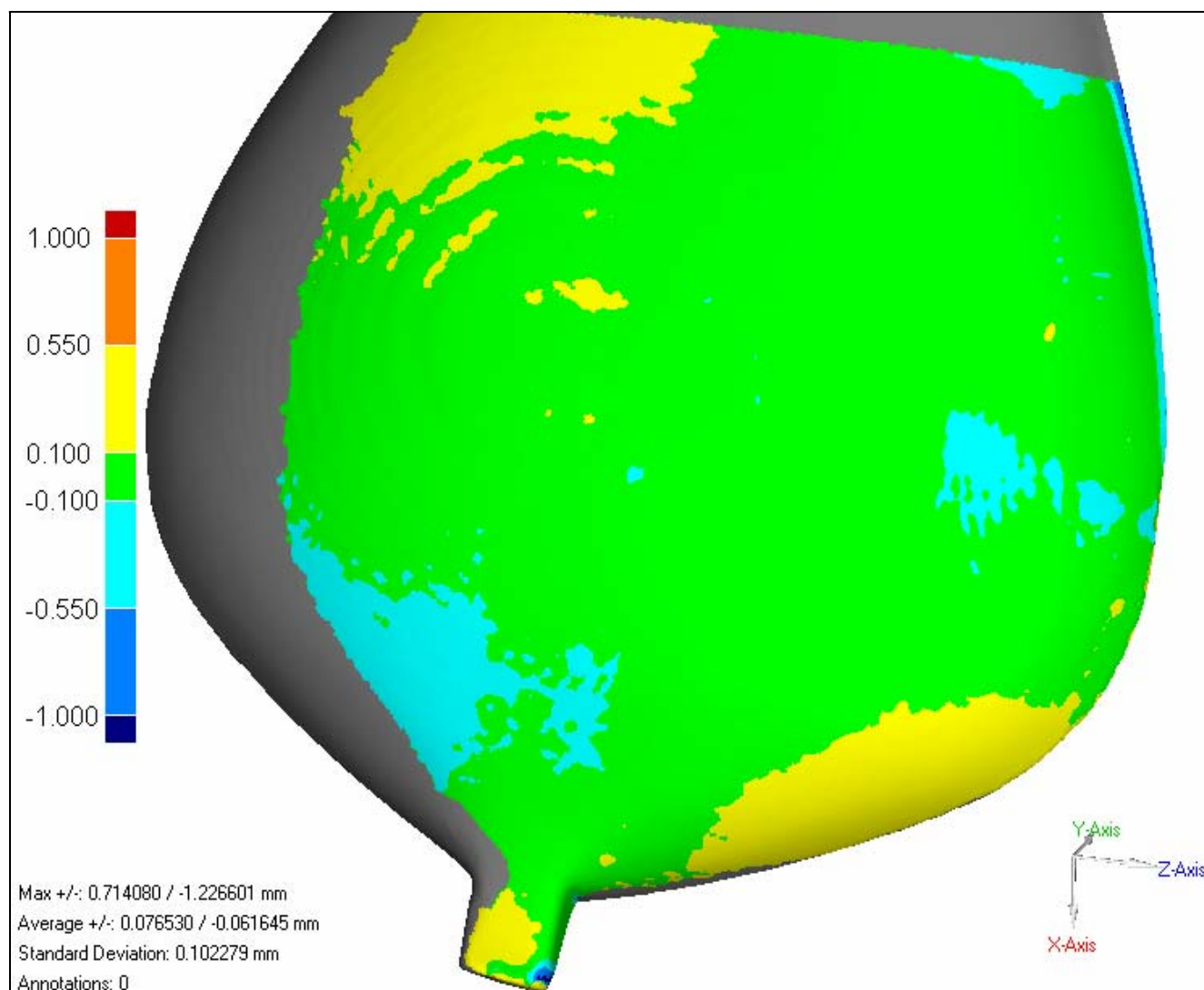
Εικόνα 6.33 - 3D Compare Analysis διαφόρων σαρώσεων



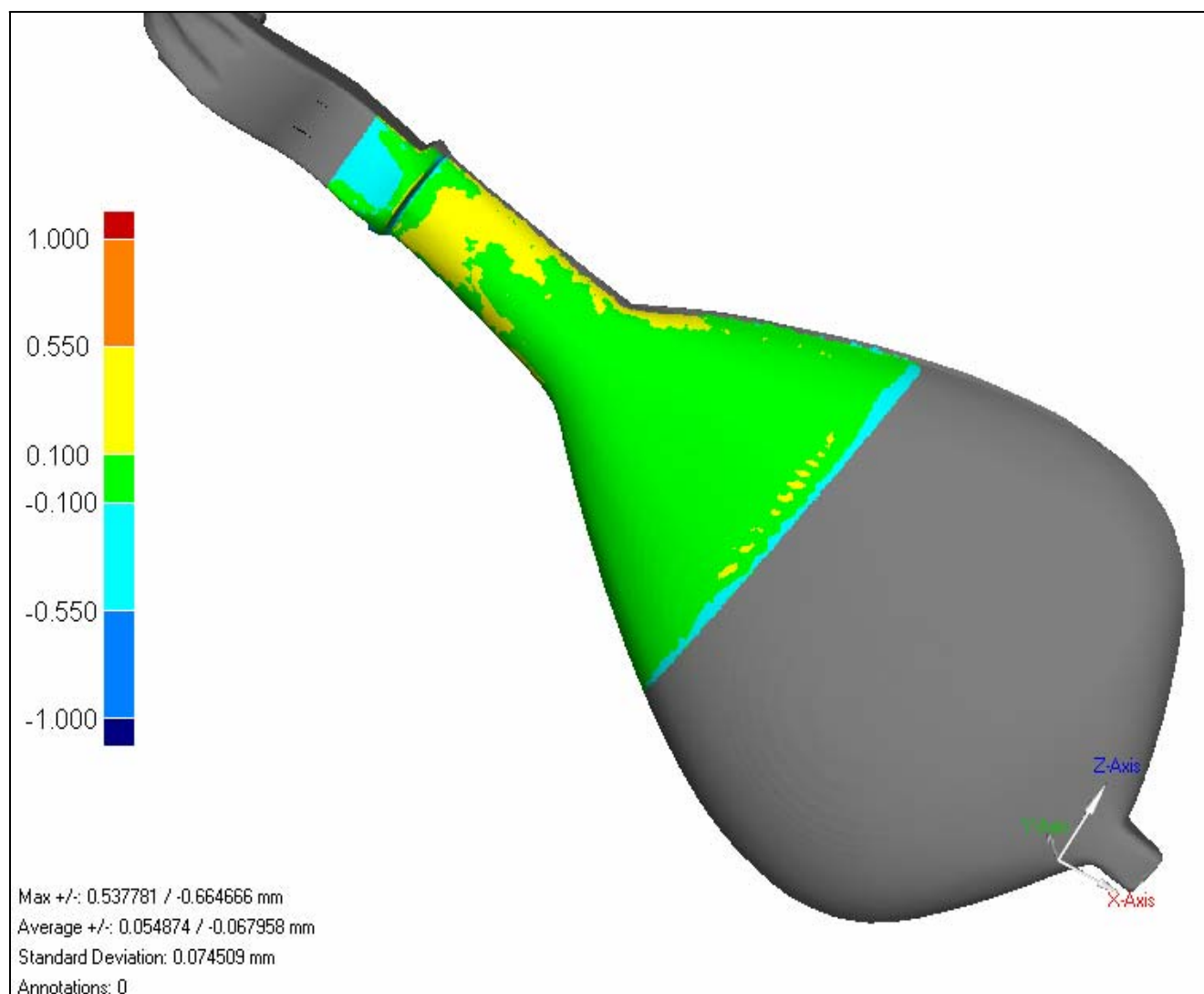
Εικόνα 6.34 - 3D Compare Analysis διαφόρων σαρώσεων



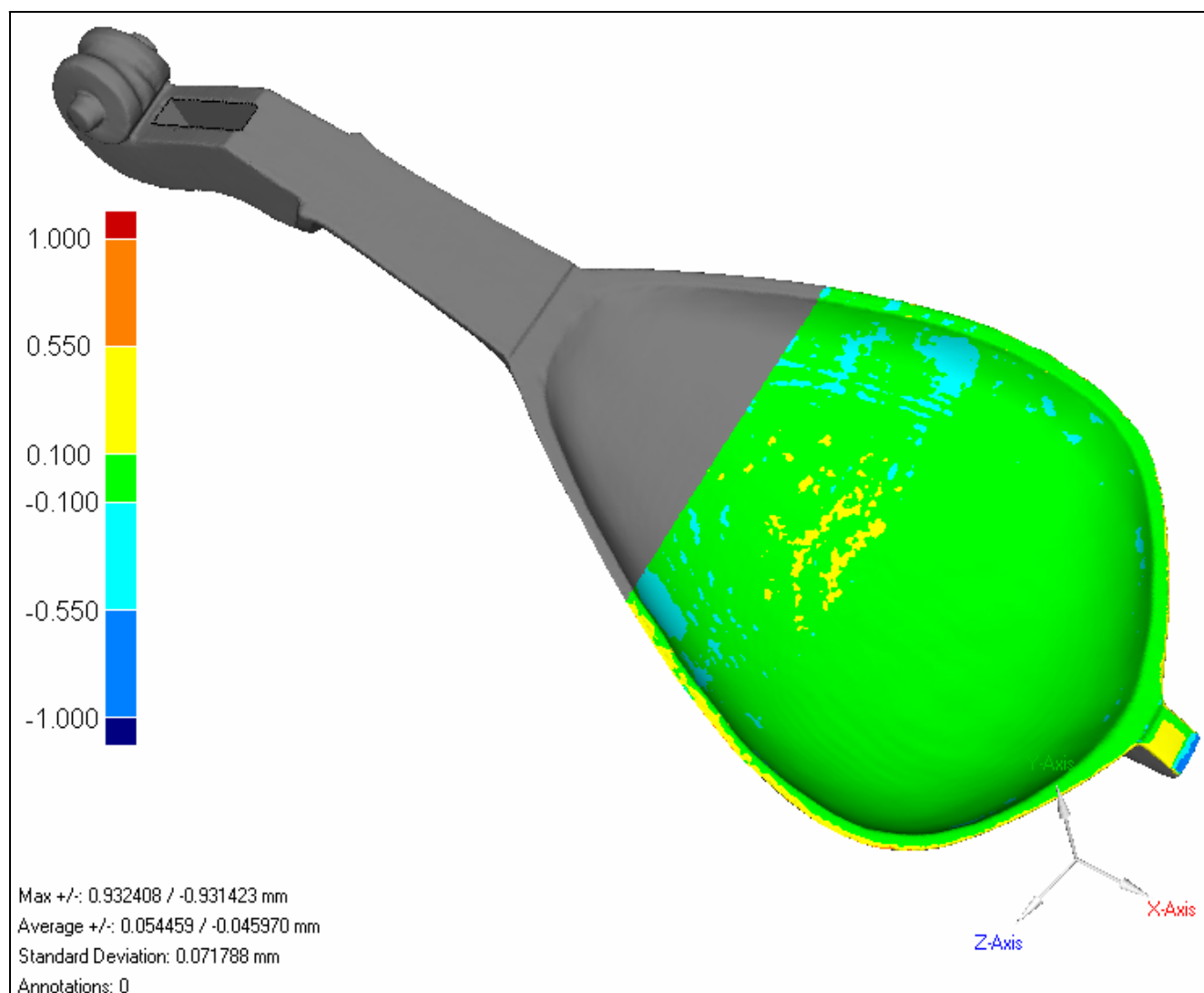
Εικόνα 6.35 - 3D Compare Analysis διαφόρων σαρώσεων



Εικόνα 6.36 - 3D Compare Analysis διαφόρων σαρώσεων



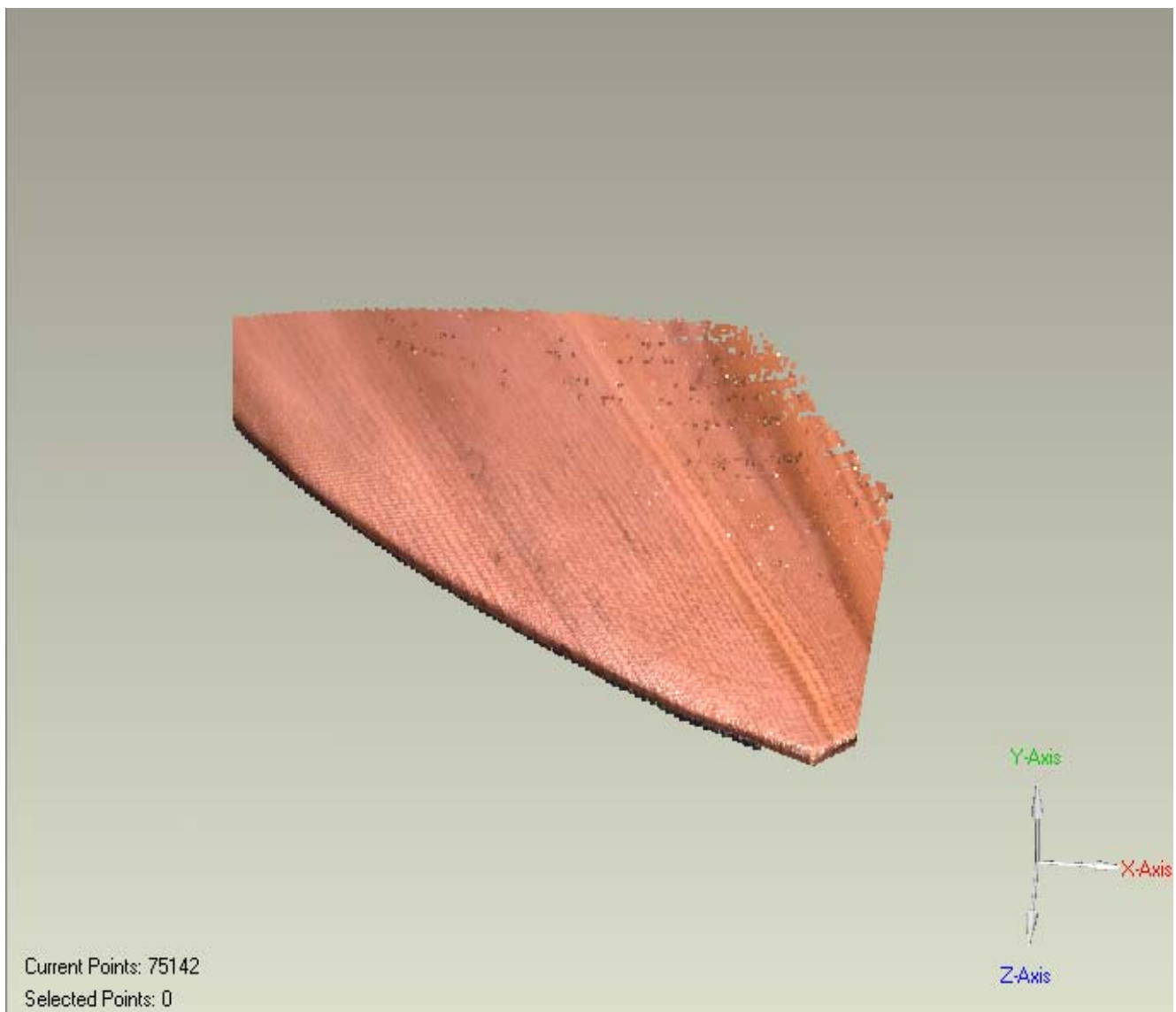
Εικόνα 6.37 - 3D Compare Analysis διαφόρων σαρώσεων



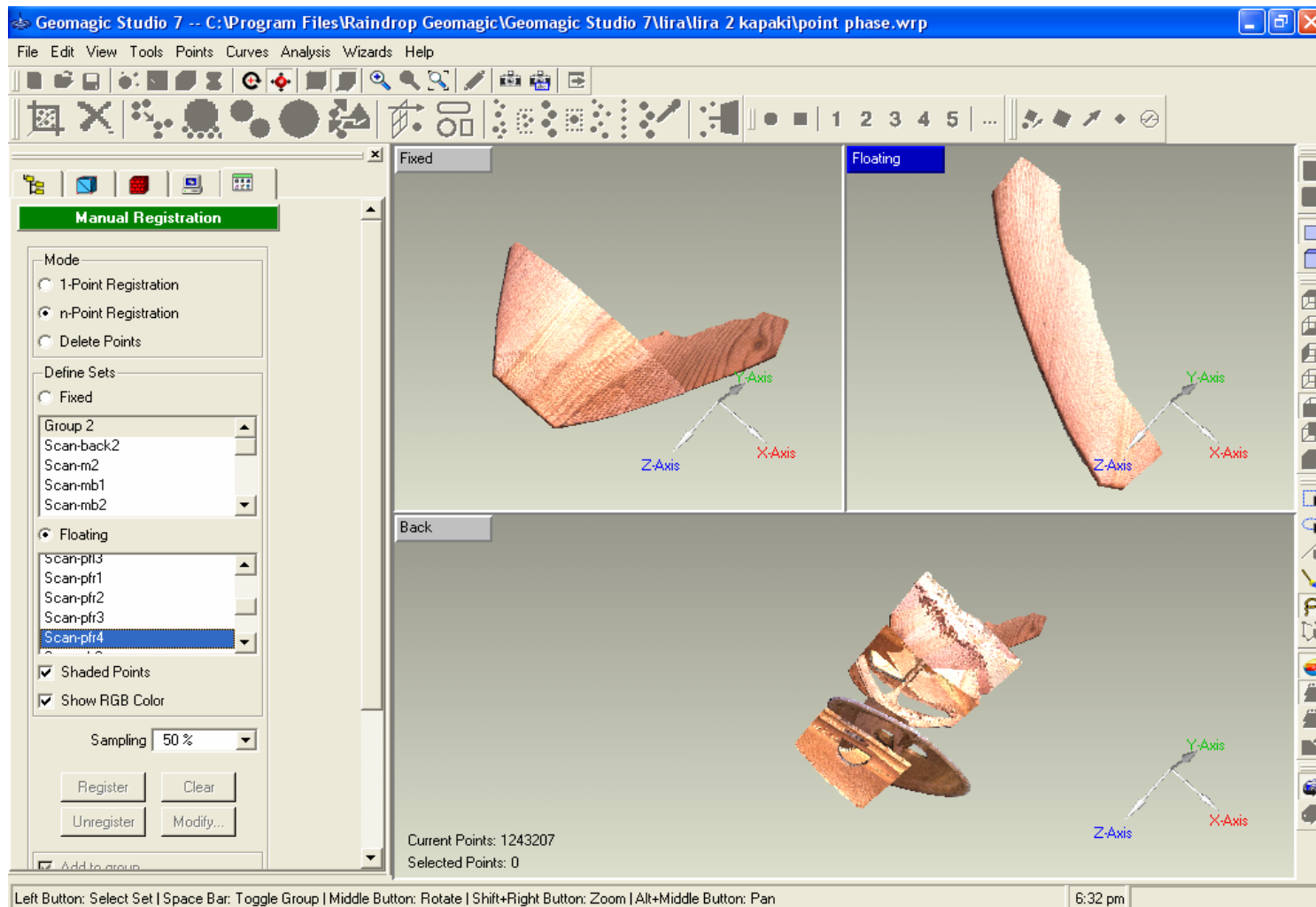
Εικόνα 6.38 - 3D Compare Analysis διαφόρων σαρώσεων

Καπάκι λύρας**a) Φάση σημείων (Point Phase)**

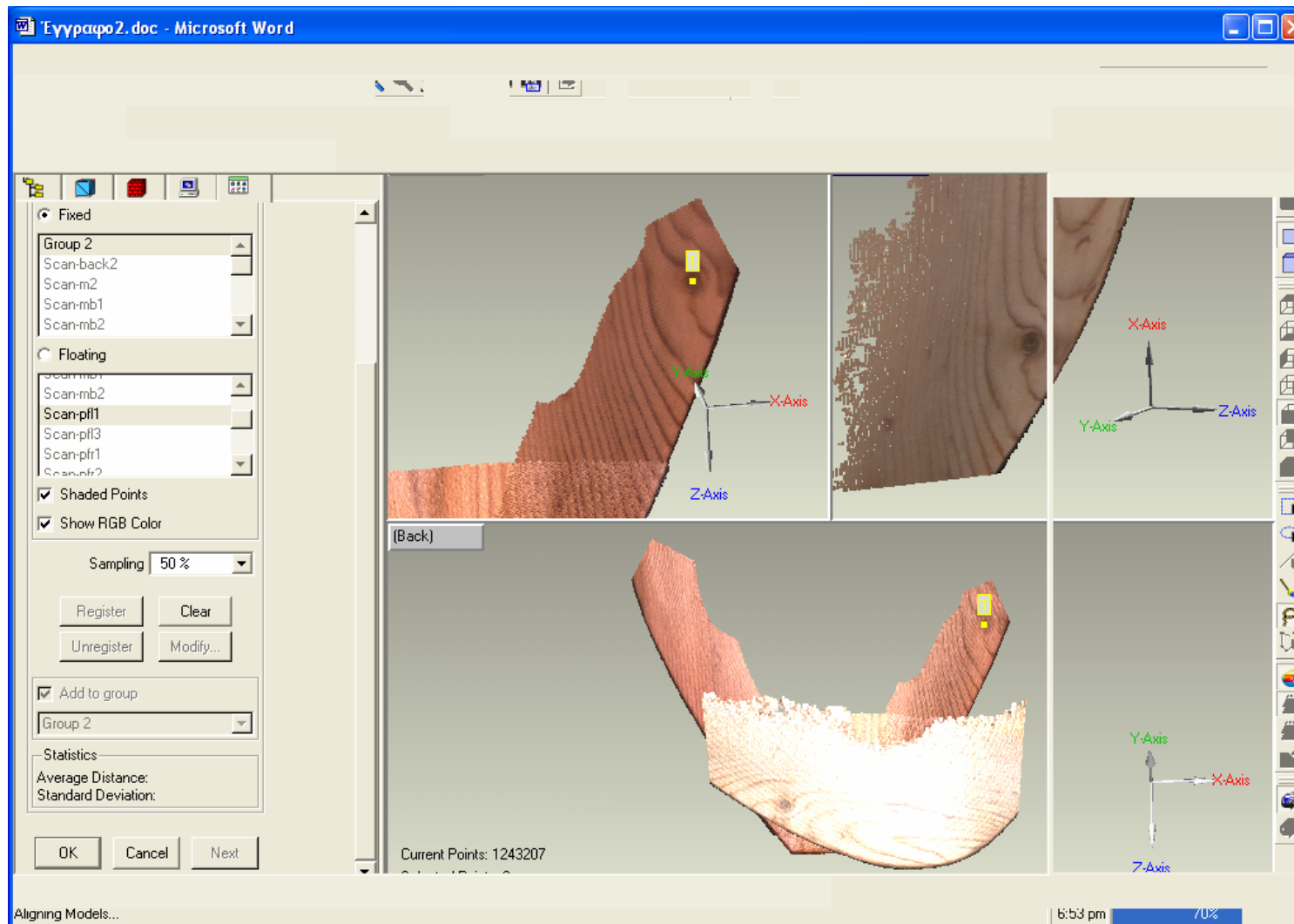
Συνεχίζουμε στο επόμενο κομμάτι με παράθεση των σημαντικότερων διαδικασιών και αποτελεσμάτων από το καπάκι της λύρας. Η σειρά επεξεργασίας παραμένει ίδια με το κυρίως σώμα της λύρας. Οπότε παρακάτω παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επεξεργασίας αυτών των σαρώσεων. Επειδή ο προσανατολισμός του νέφους σημείων και του πολυγωνοποιημένου μοντέλου έχει αλλάξει, δεν είναι δυνατός στο τέλος η 3D Compare Analysis. Το μέγεθος του αρχείου stl που προκύπτει είναι 4.65 MB.



Εικόνα 6.39 – Καθαρισμός θορύβου από το νέφος σημείων



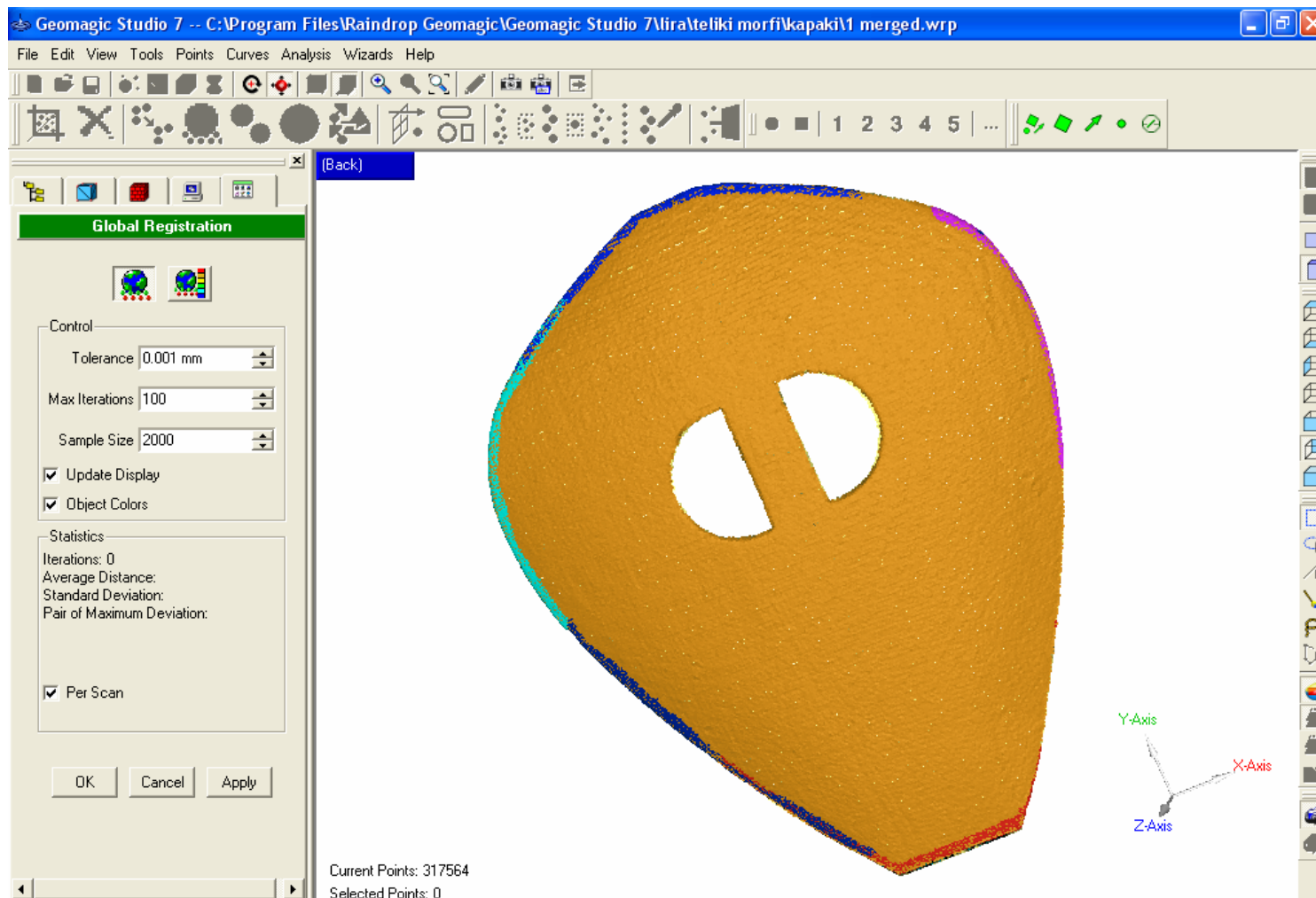
Εικόνα 6.40 – Ευθυγράμμιση σαρώσεων (Manual Registration)



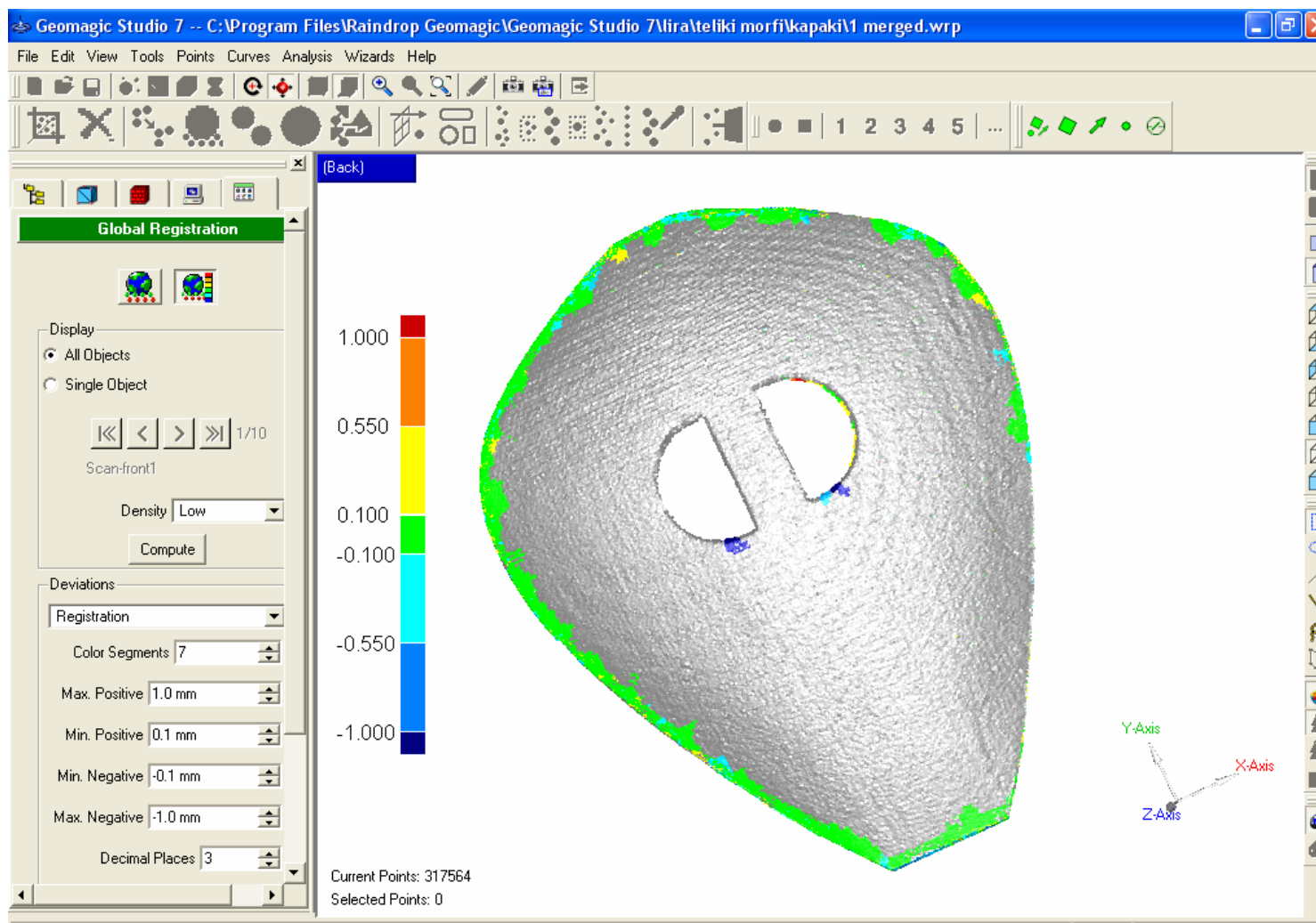
Εικόνα 6.41 – Ευθυγράμμιση σαρώσεων (Manual Registration)



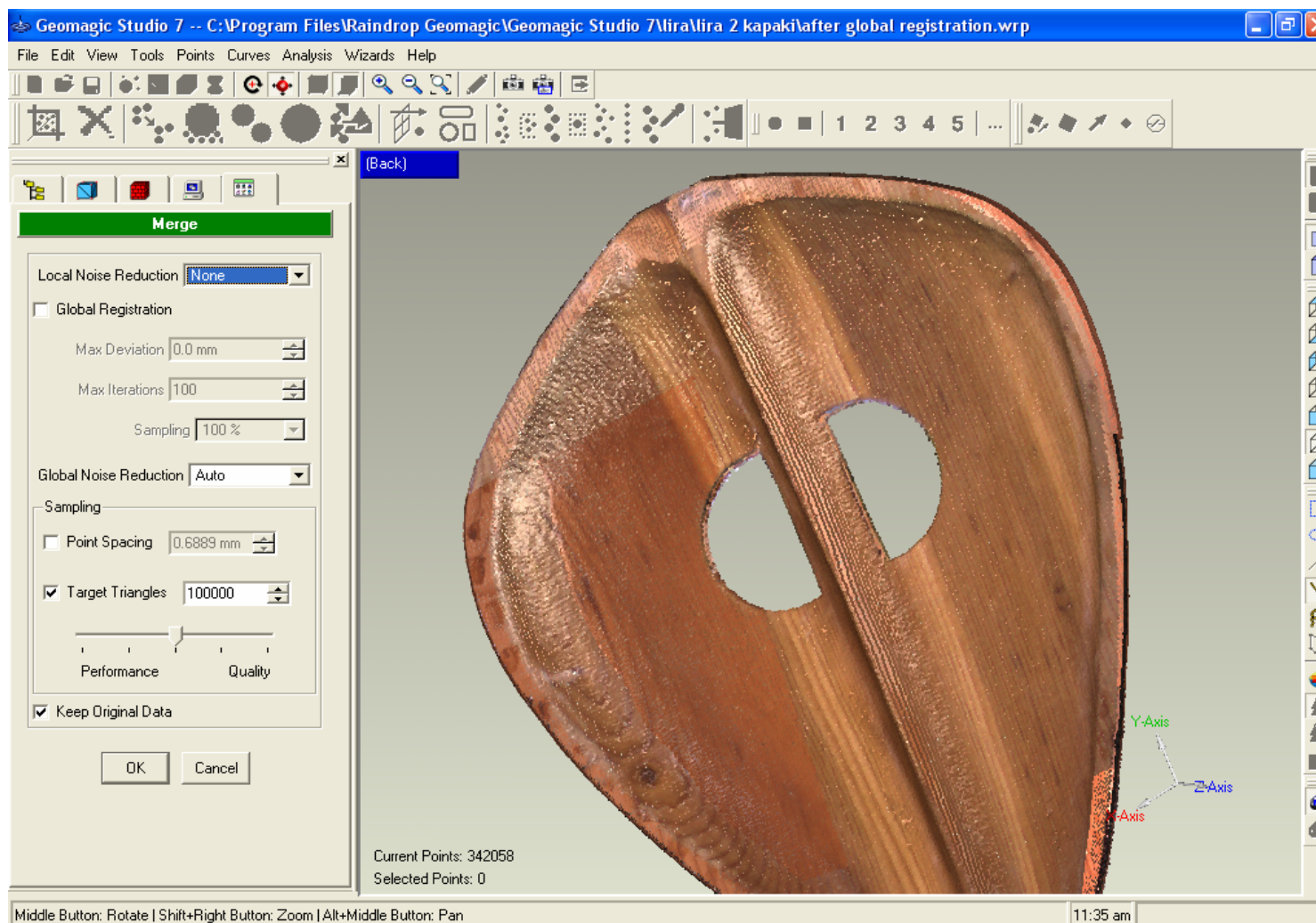
Εικόνα 6.42 – Μετά την ευθυγράμμιση των σαρώσεων (after Manual Registration)



Εικόνα 6.43 – Ευθυγράμμιση σαρώσεων (Global Registration)

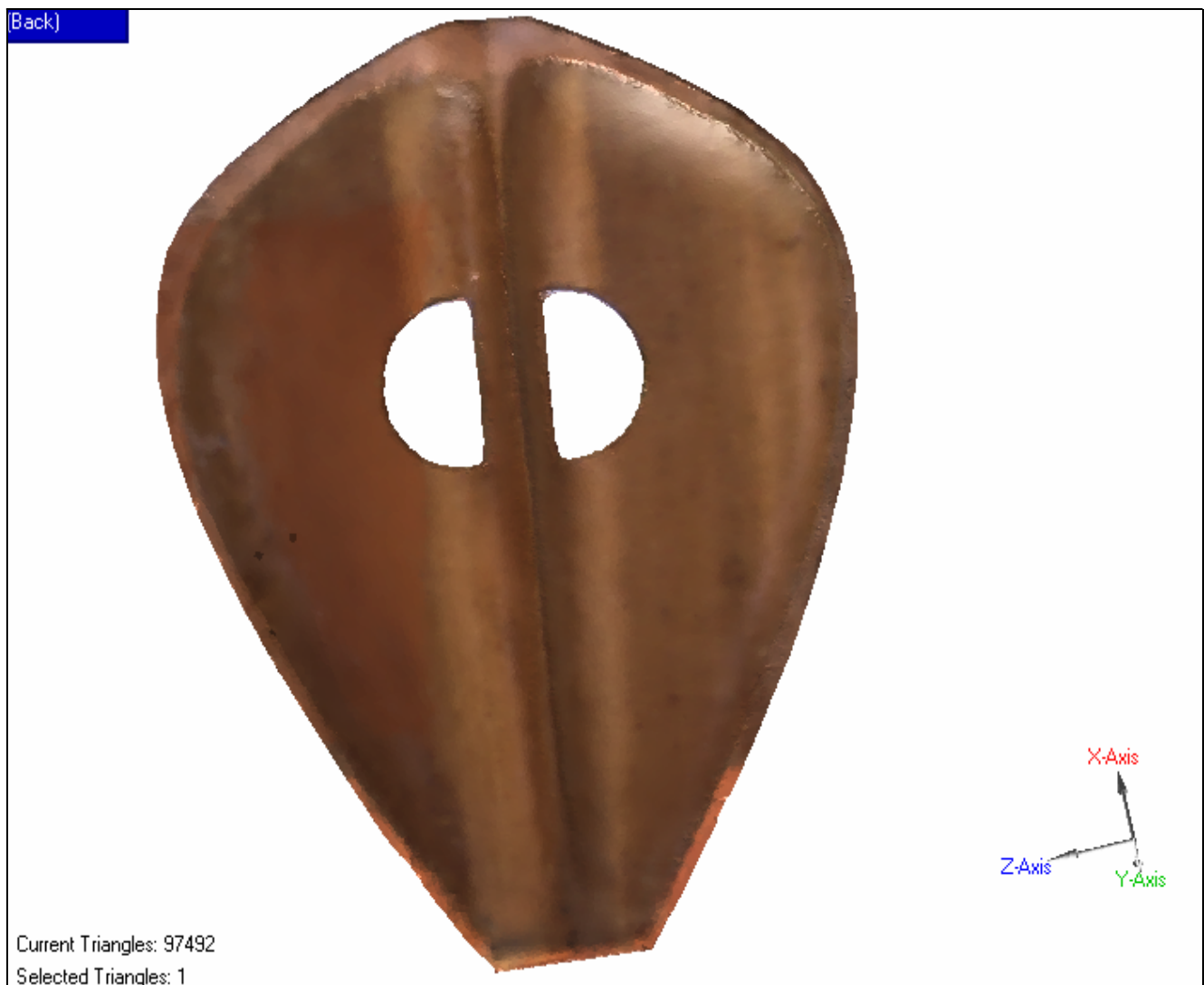


Εικόνα 6.44 – Ευθυγράμμιση σαρώσεων (Global Registration - Analysis)



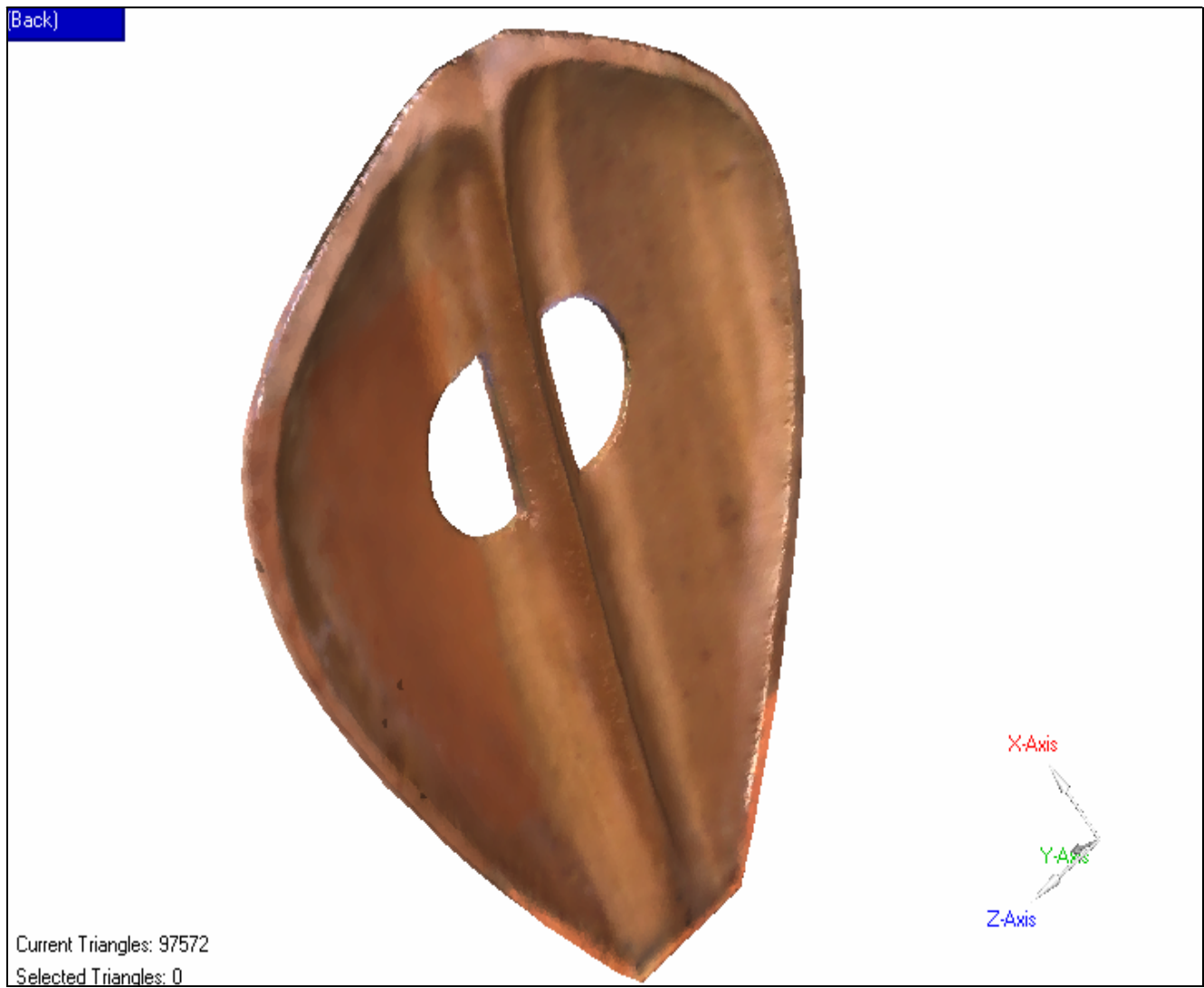
Εικόνα 6.45 – Διαδικασία συγχώνευσης και τριγωνοποίησης (merge 30% των αρχικών σημείων του νέφους)

b) Φάση Πολυγώνων



Εικόνα 6.46 – Μετά το γέμισμα των οπών και την ομαλοποίηση της επιφάνειας (relax)

ς) Τελική μορφή.



Εικόνα 6.47 – Μετά τον καθαρισμό από intersections, spikes. Τελικό μοντέλο.

Βιβλιογραφία

1. Ν. ΜΠΙΛΑΛΗΣ. Μελέτη – Σχεδίαση με χρήση Η/Υ, 2001
2. Ν. ΜΠΙΛΑΛΗΣ. Μελέτη – Ανάπτυξη προϊόντων, 2003
3. KEVIN OTTO & KRISTIN WOOD. Product Design – Techniques in reverse engineering and new product development
4. Sabry F. El-Hakim, J.-Angelo Beraldin, Michel Picard. Detailed 3D Reconstruction of monuments using multiple techniques, ISPRS-CIPA Workshop, Corfu, Greece
5. A. Guarnieri, A. Vettore, S. El-Hakim, L. Gonzo. Digital Photogrammetry and laser scanning in cultural heritage survey, Istituto Tecnico per la Ricerca Scientifica e Tecnologica, Trento, Italy
6. <http://www.minolta-3d.com>
7. <http://www.designcommunity.com>
8. <http://www.infosock.gr>
9. <http://www.194.177.198.81/DML/index.htm>