



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΣΠΥΡΙΔΑΚΗΣ Χ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΣ Φ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς  
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2015





## **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**



**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ**

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΠΥΡΙΔΑΚΗΣ Χ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΣ Φ.ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 23η Μαρτίου 2015

.....  
Κ. Παπαοδυσσεύς  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Β. Λούμος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Η. Κουκούτσης  
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.



.....  
Σπυριδάκης Χ. Γεώργιος  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

.....  
Φωτόπουλος Φ. Βασίλειος  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Σπυριδάκης Χ. Γεώργιος, Φωτόπουλος Φ. Βασίλειος, Κ. Παπαοδυσσεύς, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## **Περίληψη**

Στην εργασία αυτή μελετάται μία μεθοδολογία ανακατασκευής τρισδιάστατων αντικειμένων. Το σύστημα που αναπτύχθηκε με βάση αυτή και μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, βασίζεται στη τρισδιάστατη αναπαράσταση στον υπολογιστή των τρισδιάστατων αντικειμένων. Η τρισδιάστατη πληροφορία τους αποκτήθηκε μέσω σάρωσης από 3D-scanner.

Η μεθοδολογία, σε πρώτη φάση, βρίσκει τα κάθετα διανύσματα που αντιστοιχούν σε όλα τα σημεία της άνω επιφάνειας του κονιάματος. Κατόπιν, είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε το αντίστοιχο επίπεδο της άνω επιφάνειας. Το τρίτο βήμα της μεθοδολογίας απαιτεί τομές του θραύσματος με επίπεδα παράλληλα στο βέλτιστο. Τέλος, σχεδιάζεται για κάθε τομή το περίγραμμα του κονιάματος. Ως αποτέλεσμα, για κάθε θραύσμα που επεξεργάζεται αυτή η μέθοδος, το αποτέλεσμα είναι πολλές καμπύλες (μία ανά τομή) που αναπαριστούν το σχήμα του θραύσματος στα παράλληλα επίπεδα της άνω επιφάνειάς του, κατά μήκος του κάθετου άξονα στην άνω επιφάνεια. Για κάθε κονίαμα χρειάζονται περίπου 12-25 τομές για να καλύψουν όλη την επιφάνειά του, ανάλογα με το πάχος του καθενός. Για τον σκοπό της αυτοματοποιημένης συνένωσής τους αρκούν περίπου 12 με 15 τομές.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα θραύσματα αναπαρίστανται επιτυχώς έτσι ώστε, να καθίσταται δυνατή η μετέπειτα αυτοματοποιημένη συνένωσή τους.

## **Λέξεις Κλειδιά**

3D-scanning, θραύσματα τοιχογραφίας, αυτόματη ανακατασκευή θραυσμένων αντικειμένων.

## **Abstract**

In this thesis, a methodology of automatic reconstruction of three-dimensional objects was studied. The system developed under this and studied in this thesis is based on three-dimensional representation of three-dimensional computer objects. Three-dimensional information obtained through the scanning of 3D-scanner.

The methodology, initially finds the perpendicular vectors correspond to all parts of the upper surface of the mortar. Then we can determine the corresponding level of the upper surface. The third step of the methodology requires incisions of the fragment with planes parallel to the optimum. Finally, plans for each intersection of the contour of the mortar. As a result, for each chip that processes this method, the result is a lot of curves (one per section) that represent the shape of the fragments in parallel planes of the upper surface along the vertical axis on the upper surface. For each mortar takes about 12-25 slices depending on the thickness of each.

The results showed that the fragments represented successfully in order to enable subsequent automated grouping them.

## **Keywords**

3D-scanning, wall-painting fragments, automatic reconstruction of fragmented 3D objects.





---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>10</b>
1.1 Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας .....	11
<b>2. Αυτόματη ανακατασκευή θραυσμένων αρχαιολογικών ευρημάτων</b> ....	<b>14</b>
2.1 Αναγκαιότητα .....	15
2.2 State of the Art .....	17
2.3 Περιγραφή μεθόδων ανακατασκευής θραυσμάτων.....	18
2.3.1 Περίπτωση των δύο διαστάσεων .....	18
2.3.2 Η τρισδιάστατη υπόθεση .....	21
2.4 Μια νέα προσέγγιση .....	24
<b>3. Προεπεξεργασία των θραυσμάτων πριν τον έλεγχο ταιριάσματος</b> .....	<b>30</b>
3.1 Πρώτο στάδιο προεπεξεργασίας: εντοπισμός βέλτιστου επιπέδου αναφοράς(πάνω ζωγραφισμένης επιφάνειας) .....	31
3.2 Δεύτερο στάδιο: Παράλληλες τομές του θραύσματος .....	36
3.3 Τρίτο στάδιο:Εξαγωγή περιγράμματος ανά τομή.....	37
3.4 Αναλυτική περιγραφή του κώδικα .....	40
3.4.1 Περιγραφή του κώδικα που βρίσκει το βέλτιστο επίπεδο στην άνω επιφάνεια του κονιάματος.....	40
3.4.2 Περιγραφή του κώδικα που υπολογίζει τις τομές των κονιαμάτων .....	42
3.4.3 Περιγραφή του κώδικα στροφής επιπέδου .....	43
3.4.4 Περιγραφή του κώδικα που βρίσκει το περίγραμμα του κονιάματος για κάθε τομή.....	44
3.4.5 Ενδεικτικά αποτελέσματα ενός κονιάματος.....	44
<b>4. Συμπερίληψη της εικόνας του ζωγραφισμένου τμήματος του θραύσματος επί της τρισδιάστατης απεικόνισης αυτού</b> .....	<b>62</b>
<b>5. Συμπεράσματα</b> .....	<b>68</b>
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>73</b>

---

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο και οι στόχοι της παρούσας εργασίας, συνδέονται άμεσα με την ανακατασκευή θραυσμένων αρχαιολογικών ευρυμάτων. Αυτό συνιστά ένα καινούριο γνωστικό πεδίο, το οποίο συνδυάζει πολλές διαφορετικές πτυχές γνώσεων του κλάδου του μηχανικού υπολογιστών όπως την αναγνώριση προτύπων, την ψηφιακή καταγραφή και επεξεργασία τρισδιάστατων αντικειμένων, τα Μαθηματικά, ως και την ανάπτυξη και κατανόηση περίπλοκων προγραμμάτων που εκτελούνται στον υπολογιστή. Συγκεκριμένα στην παρούσα διπλωματική επιχειρούνται τα κάτωθι:

- \* Η κατανόηση και εξοικείωση με το «μέτωπο έρευνας» ( state of the art). Επί αυτού του γνωστικού πεδίου της αυτόματης ανακατασκευής θραυσμένων αντικειμένων ειδικότερα, μελετήθηκε σε όσο το δυνατό μεγαλύτερο βάθος μία νέα μεθοδος ανακατασκευής θραυσμένων αντικειμένων που πραγματοποιείται με χρήση των τρισδιάστων απεικονίσεων των επιμέρους θραυσμάτων. Η σχετική ανάλυση γίνεται στο κεφαλαίο 2.2.
  
- \* Η καταλληλη επεξεργασία στον υπολογιστή πρωτογενών δεδομένων τρισδιάστατης σάρωσης. Δηλαδή, ένας τρισδιαστατος σαρωτής (3d scanner) προσφέρει την τρισδιάστατη απεικόνιση των προς καταγραφή αντικειμένων σε μία πρώτη (Raw) μορφή, η οποία πολύ απέχει από το να εισαχθεί ως είσοδος σε ανωτέρου επιπέδου προγράμματα. Γι' αυτό το λόγο, απαιτείται ένα πρώτο στάδιο επεξεργασίας αυτών των πρωτόλυων απεικονίσεων, έως ότου αυτά γίνουν χειρίσιμα από τα προγράμματα που επιχειρούν την ανασύνθεση των θραυσμένων αντικειμένων. Αυτή η διαδικασία μετατροπής είναι ιδιαίτερως

χρονοβόρα και απαιτεί μεγάλη προσοχή και ακρίβεια, διότι ενδεχόμενη αστοχία σε αυτήν θα οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα συνένωσης θραυσμάτων. Η σχετική διαδικασία περιγράφεται στα κεφάλαια 3 και 4, όπου επίσης παρουσιάζονται αποτελέσματα εφαρμογής αυτής της διαδικασίας σε πολύ σημαντικές τοιχογραφίες της μυκηναϊκής περιόδου, οι οποίες ανακαλύφθηκαν στην Τύρινθα κυρίως από τη Γερμανική Αρχαιολογική Σχολή, αρχής γενομένης από τον Ερρίκο Σλήμαν.

- \* Τα θραύσματα, των οποίων η τρισδιάστατη απεικόνιση τοποθετήθηκε στη σωστή μορφή, εδώθησαν ως είσοδος σε ολοκληρωμένο σύστημα ανακατασκευής θραυσμένων αντικειμένων, το οποίο υλοποιεί τη νέα μεθολογία που χρησιμοποιήσαμε. Τα αποτελέσματα εκτέλεσης των σχετικών αλγορίθμων αξιολογήθηκαν με στόχο να οδηγηθούμε στη δημιουργία νησίδων θραυσμάτων που συνανήκουν. Τονίζεται ότι το συγκεκριμένο εγχείρημα είναι εξαιρετικά μεγάλης δυσκολίας, δεδομένου και του γεγονότος ότι πολλά κρίσιμα θραύσματα που ανήκουν σε μία προς ανακατασκευή τοιχογραφία λείπουν, είτε λόγω της φθοράς που προκάλεσε ο χρόνος είτε λόγω ανθρώπινης παρέμβασης είτε λόγω της αρχικής διαδικασίας θραύσης.



---

## **2. Αυτόματη ανακατασκευή θραυσμένων αρχαιολογικών ευρημάτων**

## 2.1 Αναγκαιότητα

Ένα από τα πιο σημαντικά τμήματα στα γνωστικά πεδία της Ιστορίας και της Αρχαιολογίας, είναι η εξαγωγή πληροφοριών από τα ευρήματα των ανασκαφών. Αυτά τα ευρήματα που έρχονται στο φως είναι τεράστιας σημασίας, όχι μόνο επειδή αποκαλύπτουν σημαντικά στοιχεία που αφορούν την ιστορία της ανθρωπότητας, αλλά γιατί δίνουν επίσης σημαντικές πληροφορίες για την καθημερινή ζωή στην αρχαιότητα, τις κοινωνικές δομές των πόλεων, των πολιτισμών και τις κοινωνικές δραστηριότητες που ενδεχομένως να μην υπάρχουν στις μέρες μας. Δυστυχώς, λόγω της φθοράς που επιβάλλει ο χρόνος και άλλες ειδικές συνθήκες (φυσικές καταστροφές, ανθρώπινη παρέμβαση), τα περισσότερα από αυτά τα ευρήματα είναι, κατά κανόνα, κατακερματισμένα σε κομμάτια. Υπάρχουν πολλές τοιχογραφίες μεγάλης αρχαιολογικής αξίας, οι οποίες έχουν ανασυρθεί σε χιλιάδες θραυσματα και παραμένουν σ' αυτήν την κατάσταση, κακοδιατηρημένες, εξαιτίας των σοβαρών δυσκολιών που αντιμετωπίζει η διαδικασία ανακατασκευής τους. Για παράδειγμα, στο νησί της Θήρας, έχουν ανασκαφεί τοιχογραφίες μεγάλης αρχαιολογικής και ιστορικής σημασίας σε χιλιάδες κομμάτια, απαγορεύοντας στους επιστήμονες την άμεση πρόσβαση σε μια μεγάλη πηγή πληροφοριών. Ομοίως, στους περίφημους αρχαιολογικούς χώρους των Μυκηνών και της Τίρυνθας χιλιάδες θραύσματα τοιχογραφιών έχουν ανασκαφεί μέχρι σήμερα, ξεκινώντας από τις ανασκαφές του Σλήμαν. Η Ελλάδα σαφώς δεν είναι η μόνη χώρα στην οποία τα σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα των ανασκαφών βρέθηκαν κατακερματισμένα, αντιθέτως πολύ σημαντικά ευρήματα ανασκαφών έχουν βρεθεί στην ίδια κατάσταση σε διάφορες τοποθεσίες όπως στην Αίγυπτο, την Ιταλία, τη Συρία, την Ιορδανία, το Ισραήλ, κλπ.



**Εικόνα 2.1.1: “Μυκηναία” : Η πιο καλά διατηρημένη τοιχογραφία της ηπειρωτικής Ελλάδας**

Για τη λύση του προβλήματος, η επιστημονική κοινότητα έχει αναλάβει την προσπάθεια να εφαρμόσει διάφορες μεθόδους για την επανασυναρμολόγηση αυτών των θραυσμένων ευρημάτων. Αυτή η διαδικασία είναι χρονοβόρα, απαιτεί άρτια εκπαιδευμένο προσωπικό, καθώς επίσης και ένα σημαντικό ποσό χρημάτων. Ως εκ τούτου, τα τελευταία χρόνια, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την ανάπτυξη των διαφόρων αυτοματοποιημένων συστημάτων που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην προσπάθεια αυτή. Ο ρόλος αυτών των συστημάτων είναι να επισημαίνουν πιθανές αντιστοιχίες των θραυσμάτων στους μελετητές και το αφοσιωμένο προσωπικό τους, προκειμένου να διευκολυνθεί σε μεγάλο βαθμό η ανασυγκρότηση των ευρημάτων. Αυτά τα συστήματα προτείνουν όλες τις πιθανές αντιστοιχίες, προσπαθώντας ταυτόχρονα, όσο γίνεται, να μειώσουν τα αποτελέσματα που δίνουν λανθασμένες αντιστοιχίες.



## 2.2 State of the Art

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται ορισμένες χαρακτηριστικές ερευνητικές εργασίες, για την εφαρμογή της Επεξεργασίας Σήματος και των τεχνικών ανάλυσης προτύπων, για την αυτόματη επανασυναρμολόγηση κατακερματισμένων αρχαιολογικών αντικειμένων. Οι μελέτες που περιγράφονται, βρίσκουν εφαρμογή σε μια ποικιλία από αρχαιολογικά αντικείμενα, που κυμαίνονται από έγγραφα και τοιχογραφίες μέχρι αγγεία και γλυπτά. Επιπλέον, υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις στην αντιμετώπιση των παραπάνω εφαρμογών, με κάποιες εργασίες να εστιάζουν στην ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας ανακατασκευής γενικού σκοπού, ενώ άλλες να στοχεύουν στην ανάπτυξη ενός πλήρους συστήματος για την αντιμετώπιση ενός συγκεκριμένου προβλήματος εφαρμογής. Οι μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν σε αυτές τις μελέτες, περιγράφονται στο παρόν κεφάλαιο με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρηθούν τα βασικά τεχνικά στοιχεία της κάθε προσέγγισης, που αποτελούν το προτεινόμενο αλγοριθμικό σύστημα ανασυγκρότησης.

Το βασικό αλγοριθμικό σύστημα των μεθόδων ανασυγκρότησης που παρουσιάζονται εδώ, αποτελείται από τρεις βασικές επιμέρους διαδικασίες:

- Προεπεξεργασία: Στην προεπεξεργασία των θραυσμάτων μέσω ψηφιακών απεικονίσεων (φωτογραφίες ή τρισδιάστατες αναπαραστάσεις), εξάγονται απαραίτητες πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη στα επόμενα επίπεδα της διαδικασίας της αντιστοίχισης. Σε αυτό το στάδιο οι μέθοδοι αξιολογούν συνήθως τα χαρακτηριστικά που επιλέγονται για να περιγράψουν τα θραύσματα. Αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση πιθανών αντιστοιχίσεων μεταξύ των θραυσμάτων.

- Αξιολόγηση του σφάλματος: Με βάση τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που εξάγονται στην προεπεξεργασία, σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιείται ένα κατάλληλο σφάλμα, ώστε να επιτευχθεί η εκτίμηση αντιστοίχισης από τις χαρακτηριστικές διακυμάνσεις του θραύσματος.
- Απόφαση ταιριάσματος: Μετά τον υπολογισμό εκτίμησης της αντιστοίχισης μεταξύ των θραυσμάτων, σε αυτό το στάδιο οι μέθοδοι αξιολογούν την εικονική ανακατασκευή των αντίστοιχων νησίδων των θραυσμάτων. Η συνοχή αυτής της ανακατασκευής εξαρτάται από την αυστηρότητα των κριτηρίων αντιστοίχισης και τον τρόπο που αίρονται οι αντιφατικές αποφάσεις που ταιριάζουν πιθανά ζεύγη.

## 2.3 Περιγραφή μεθόδων ανακατασκευής θραυσμάτων

### 2.3.1 Περίπτωση των δύο διαστάσεων

- **Ανακατασκευή θραυσμάτων με βάση το σχήμα του περιγράμματος(τοιχογραφίες 1600 π.Χ.).** [Papaodysseus, Panagopoulos, Exarhos, Triantafillou, Fragoulis, Doumas 2002]

Σε αυτή την εργασία εισάγεται μια γενική μέθοδος ανακατασκευής αρχαίων τοιχογραφιών, η οποία στηρίζεται στις δυνατότητες που παρέχει ένα υπολογιστικό σύστημα. Οι περισσότερες από αυτές τις τοιχογραφίες έχουν ανασυρθεί στην επιφάνεια σε χιλιάδες θραύσματα, με αποτέλεσμα η ανακατασκευή τους να αποτελεί επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία. Τόσο το σύστημα όσο και η μεθοδολογία που παρουσιάζονται εδώ, αποσπούν τη

μέγιστη διαθέσιμη πληροφορία από το σχήμα του περιγράμματος των θραυσμάτων ενός αυθαίρετου, αρχικά αέριου επίπεδου αντικειμένου προκειμένου να επισημάνουν πιθανές αντιστοιχήσεις μεταξύ θραυσμάτων.

- **Μέθοδος πολλαπλής κλίμακας για την επανασυναρμολόγηση των δυσδιάστατων θραυσμάτων** [Cristina, Leitao and Stolfi, 2002]

Σε αυτή την εργασία οι συγγραφείς προτείνουν μια διαδικασία η οποία συγκρίνει τα περιγράμματα που είναι κωδικοποιημένα ως προς την καμπυλότητα, σε προοδευτικά αυξανόμενα επίπεδα ανάλυσης χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο αντιστοίχισης συχνοτήτων οριακά δυναμικού προγραμματισμού. Περιγράφεται μια εξειδικευμένη μέθοδος αντιστοίχισης πολλαπλών κλιμάκων, η οποία, αν το σχήμα ενός τυπικού θραύσματος περιγράφεται από  $\lambda$  σημεία-δείγματα, επιτρέπει τη μείωση του συνολικού υπολογιστικού κόστους από  $O(N^2L^2)$  πράξεις για μία συλλογή  $N$  δειγμάτων σε περίπου  $O(N^2L \log L)$ .

- **Παγκοσμίως συνεπής ανακατασκευή σκισμένων/κατεστραμμένων εγγράφων** [Zhu, Zhou and Hu, 2008]

Σε αυτήν την εργασία, η ανακατασκευή των βασικών περιγραμμάτων κατακερματισμένων εγγράφων “οδηγείται” από έναν αλγόριθμο δύο βημάτων, ο οποίος αρχικά καθορίζει πιθανές αντιστοιχίες μεταξύ των καμπυλωτών τμημάτων που έχουν παρόμοιο σχήμα και στη συνέχεια

“φιλτράρει” τα αποτελέσματα της αντιστοίχισης προσδιορίζοντας και αφαιρώντας την ασυμβίβαστη αντιστοιχία του περιγράμματος.

- **Ανακατασκευή κατακερματισμένων εγγράφων χρησιμοποιώντας χάρτες περιγράμματος** [Biswas, Bhowmick and Bhattacharya, 2005]

Σε αυτήν την εργασία η ανακατασκευή κατακερματισμένων εγγράφων εκπονείται σε δύο διαστάσεις, χρησιμοποιώντας φωτογραφίες των θραυσμάτων των εγγράφων. Η διαδικασία ανασυγκρότησης έχει να κάνει με μία αναζήτηση κατά ζεύγη, η οποία χρησιμοποιεί μια λίστα με τα χαρακτηριστικά που προέρχονται από τα περιγράμματα των θραυσμάτων.

- **Εικονική Αποκατάσταση των κατακερματισμένων Φωτογραφιών γυάλινης πλάκας** [Stanco, Tenze, Ramroni and de Polo, 2004]

Σε αυτήν την εργασία υπάρχει μια βασική διαφοροποίηση ως προς τη συλλογή δεδομένων και την προεπεξεργασία, με δεδομένο ότι πολλά θραύσματα γυάλινης πλάκας συνυπάρχουν στην ίδια εικόνα και ως εκ τούτου η εικόνα του θραύσματος και τα δεδομένα του σχήματος θα πρέπει να εξάγονται αυτόματα. Ο διαχωρισμός των θραυσμάτων επιτυγχάνεται μέσω της ανίχνευσης των κενών ανάμεσα σ' αυτά και τις συλλεγόμενες εικόνες. Έτσι οι συγγραφείς εκμεταλλεύονται την ανακλαστικότητα του γυαλιού έτσι ώστε να εντοπίσουν τα κενά καθορίζοντας το ελάχιστο όριο στις πιο σκοτεινές περιοχές της εικόνας. Τότε η εικόνα του δείκτη των κενών διαστέλλεται από ένα 2x2 τετραγωνικό μπλοκ με σκοπό να διασφαλισθεί ότι

τα σύνορα των κενών βρίσκονται μέσα στις περιοχές των θραυσμάτων. Έπειτα, εξάγονται διαδοχικά θραύσματα από την εικόνα, καθώς τα συνδεδεμένα σύνολα των σημείων δεν είναι κενά ή προηγουμένως έχουν ανιχνευθεί ως θραύσματα. Τα σύνορα των θραυσμάτων που εξάγονται, προσδιορίζονται ως οι αλληλουχίες των σημείων που ανήκουν σε ένα θραύσμα και εφάπτονται σε ένα “κενό”. Τα αποτελέσματα της εξαγωγής των συνόρων βελτιώθηκαν περαιτέρω προκειμένου να περιοριστούν οι ανακρίβειες της πρισματικής επίδρασης κοντά στην άκρη. Δηλαδή οι συγγραφείς αποδίδουν σε ένα pixel θραύσματος, που συνδέεται με το σύνορο σύμφωνα με την τοποθεσία του ή τη φωτεινότητά του, την τιμή της έντασης του γειτονικού του pixel, το οποίο δε βρίσκεται μέσα σε ένα 3X3 γειτονικό στο σύνορο τετράγωνο και η τιμή της έντασής του δεν είναι κοντά στην τιμή του συνόρου.

### **2.3.2 Η τρισδιάστατη υπόθεση**

- **Ανακατασκευή τρισδιάστατων αντικειμένων μέσω της αντιστοίχισης των μελών που τα αποτελούν** [Papaioannou , Karabassi, and Theoharis, 2001]

Η μέθοδος που προτείνεται σε αυτή την εργασία ταιριάζει και «κολλάει» θραύσματα που ανήκουν σε ένα αντικείμενο, ένα προς ένα, χρησιμοποιώντας μόνο τη γεωμετρία της επιφάνειάς τους, αν υποθεθεί ότι καμία πληροφορία δεν υπάρχει σχετικά με την προέλευση των θραυσμάτων ή το τελικό προς ανακατασκευή μοντέλο. Εισάγεται ένα μέτρο σφάλματος της συμπληρωματικής αντιστοίχισης

μεταξύ δύο τμημάτων του αντικείμενου σε μια δεδομένη σχετική θέση, με βάση την απόσταση σημείου με σημείο. Κατά τη διάρκεια της αυτοματοποιημένης συναρμολόγησης, υποθέτουμε ότι τα δύο τμήματα του αντικείμενου μπορούν να στερεώνονται σταθερά χωρίς να χρειάζεται να διεισδύσει η επιφάνεια του ενός στο άλλο. Για παράδειγμα, η μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει δύο κρίκους μιας αλυσίδας.

- **Ένα σύστημα για την ανάκτηση και αντιστοίχιση θραυσμάτων φρέσκο μεγάλου όγκου: επανασυναρμολογώντας θηραϊκές τοιχογραφίες**[Brown κ.ά.. 2008]

Σε αυτή τη μελέτη, οι συγγραφείς παρουσιάζουν ένα 3-D αλγόριθμο αντιστοίχισης που ψάχνει για το ταίριασμα κομματιών, χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία μετά από σάρωση.

- **Επανασυναρμολόγηση σπασμένων αντικείμενων μέσω Γεωμετρικής αντιστοίχισης**[Huang, Floery, Gelfand, Hofer και Pottman, 2006]

Η δουλειά που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, βασίζει την προσέγγισή της στην ανακατασκευή θραυσμένων αντικειμένων, σε χαρακτηριστικά σημεία που χρησιμοποιούνται ως «περιγραφείς» των τοπικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών των επιφανειών των θραυσμάτων. Αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των επιφανειών των θραυσμάτων και για τον καθορισμό των αντίστοιχων σημείων μεταξύ των ζευγών που πιθανά ταιριάζουν. Οι γεωμετρικοί «περιγραφείς» που επιλέγονται από τους συγγραφείς, αξιολογούν πραγματικά χαρακτηριστικά καμπυλότητας της επιφάνειας που υπολογίζονται μέσω των τοπικών ολοκληρωμάτων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η συνέχεια.

- **Αντιστοιχία ζευγών τρισδιάστατων θραυσμάτων χρησιμοποιώντας Δέντρα Cluster**[Winkelbach και Wahl 2008]

Οι επεξεργασμένες αναπαραστάσεις των τρισδιάστατων θραυσμάτων αναφέρονται σε ένα «προσανατολισμένο σημείο νεφών», δηλαδή σε σημείο νεφών με συνημμένη επιφάνεια εξωτερικών κανονικών διανυσμάτων. Τέτοιες αναπαραστάσεις μπορούν να επιτευχθούν με μια πληθώρα τρισδιάστατων γραφικών τεχνικών. (σε αυτή τη μέθοδο βασίζεται η εργασία των Mitra, NJ και Nguyen, A., 2003).

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν ορισμένες χαρακτηριστικές μέθοδοι που ασχολούνται με το πρόβλημα της αυτόματης ανασυγκρότησης κατακερματισμένων αρχαιολογικών ευρημάτων. Όπως γίνεται φανερό από την επεξεργασία των περιπτώσεων εφαρμογής και τις τεχνικές λεπτομέρειες των αντίστοιχων μεθοδολογιών, υπάρχει μια ποικιλία προσεγγίσεων που κυμαίνονται από τα πιο γενικά μέχρι αυτά που έχουν να κάνουν με την αυτόματη ανακατασκευή αρχαιολογικών ευρημάτων σχεδόν κάθε είδους (τοιχογραφίες, τα έγγραφα, αγγεία, αγάλματα, κλπ.). Τα θραυσμένα αντικείμενα θεωρούνται είτε στην πλήρη τρισδιάστατη απεικόνισή τους, είτε μειώνοντας το πρόβλημα της αντιστοίχισης των δύο διαστάσεων. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα γεωμετρικά αρχέτυπα εξάγονται από τις πρώτες ψηφιακές αναπαραστάσεις (π.χ. οριακές καμπύλες ή θραυσμένες επιφάνειες) και υφίστανται τη βασική επεξεργασία για τον προσδιορισμό ομοιοτήτων στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των θραυσμάτων και στη συνέχεια εξετάζεται η πιθανή αντιστοίχισή τους. Έτσι οι κύριες συνεισφορές των παραπάνω εργασιών, αφορούν την αξιολόγηση της πιθανότητας με βάση τη

γεωμετρική ομοιότητα. Οι διάφορες προσεγγίσεις στο πρόβλημα έχουν να κάνουν μεταξύ εξωγενών και ενδογενών γεωμετρικών κριτηρίων ομοιότητας.

## 2.4 Μια νέα προσέγγιση

Έχει προταθεί στα άρθρα της εργασίας **“Automated Reconstruction of Fragmented Objects Using Their 3D Representation - Application to Important Archaeological Finds”** [C. Papaodysseus, D. Arabadjis, M. Panagopoulos, P. Rousopoulos, M. Exarhos and School of Electrical and Computer Engineering, National Technical University of Athens], μια νέα μεθοδολογία για την επανασυναρμολόγηση θραυσμένων αντικείμενων χρησιμοποιώντας την τρισδιάστατη ψηφιακή αναπαράστασή τους. Η διαδικασία ξεκινά με την τρισδιάστατη σάρωση των διαθέσιμων θραυσμάτων. Επακολούθως, οι παραγόμενες τρισδιάστατες εικόνες των θραυσμάτων ελέγχονται αυτόματα για πιθανές αντιστοιχίες, με τη βοήθεια πέντε νέων κριτηρίων. Το πρώτο κριτήριο εκτιμά τον όγκο του κενού ανάμεσα σε δύο σωστά τοποθετημένα θραύσματα. Τα δύο επόμενα κριτήρια εκτιμούν την επικάλυψη των θραυσμάτων σε κάθε δυνατή θέση αντιστοίχισης. Τέλος, τα κριτήρια 4 και 5 χρησιμοποιούν αρχές από το λογισμό των μεταβολών για την τοποθέτηση ορίων στην περιοχή των επιφανειών επαφής και το μήκος των καμπυλών επαφής. Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία τόσο στην ανακατασκευή ενός αντικείμενου τεχνητά θραυσμένου, όσο (πιο σημαντικό) στην εικονική επανασυναρμολόγηση τμημάτων τοιχογραφιών που χρονολογούνται πριν από το 1100 π.Χ., που έχουν έρθει στο φως κατακερματισμένες σε μεγάλο βαθμό στις περιοχές των Μυκηνών και της Τίρυνθας.



**Κριτήριο αντιστοίχισης 1:** ο όγκος που περικλύεται μεταξύ γειτονικών θραυσμάτων.

Θεωρούμε δύο θραύσματα A και B και όλα τα σχετικά υπάρχοντα ζεύγη

α) της σταθερής και περιστρεφόμενης αλυσίδας  $(\Gamma_k^F, \Gamma_{k,m}^R)$

β) σταθρών και περιστρεφόμενων κρημνών  $(E_k^F, E_{k,m}^R)$  και

γ) των αρχικών και τερματικών επιφανειών του φράγματος  $(B_k^F, B_k^T)$ . Επιπλέον, τοποθετούμε τα δύο θραύσματα στο ίδιο πλαίσιο αναφοράς, έτσι ώστε το ανώτερο επίπεδο της επιφάνειάς τους να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο κάθετα στον άξονα z.

Στη συνέχεια, έστω  $V_{k,m}$  κλειστή υποπεριοχή που οριοθετείται από

α)  $(E_k^F, E_{k,m}^R)$ ,

β)  $(B_k^F, B_k^T)$ ,

γ) το κοινό ανώτερο επίπεδο των δύο θραυσμάτων και

δ) το κατώτερο επίπεδο του A ή του B, το οποίο είναι πιο κοντά στο κοινό ανώτερο

επίπεδο. Υπολογίζουμε τον όγκο  $\tau_{k,m}$  όλων αυτών των κλειστών υποπεριοχών

$V_{k,m}$ : αν ο παραπάνω όγκος είναι μικρότερος από ένα προκαθορισμένο όριο  $\tau^T$ , τότε θεωρούμε τη συγκεκριμένη θέση ως την πιο πιθανή θέση αντιστοίχισης των δύο θραυσμάτων.

Δύο ακόμα Κριτήρια αντιστοίχισης: Απαγόρευση σημαντικών επικαλύψεων μεταξύ γειτονικών θραυσμάτων.

**Κριτήριο αντιστοίχισης 2:** Στην ιδανική περίπτωση που δύο θραύσματα A, B πρακτικά ταιριάζουν, δε θα έπρεπε να υπήρχε επικάλυψη μεταξύ των αντίστοιχων σταθρών και περιστρεφόμενων κρημνών. Ωστόσο, στην πράξη, λόγω των

αναπόφευκτων ανακρίβειών στη διαδικασία της ψηφιακής αναπαράστασης των θραυσμάτων, μπορεί κανείς να περιμένει κάποια επικάλυψη μεταξύ αυτών των κρημνών ακόμα και στην περίπτωση μιας τέλει φυσικής αντιστοίχισης. Ως εκ τούτου το δεύτερο κριτήριο ακριβώς αναφέρει, ότι αν σε μια συγκεκριμένη θέση των θραυσμάτων A, B ικανοποιείται το κριτήριο 1, τότε απαιτούμε η επικάλυψη μεταξύ των σταθερών κρημνών  $E_k^F$  και των περιστρεφόμενων  $E_{k,m}^R$ , να είναι μικρότερη από ένα αποδεκτό όριο  $\tau^O$ .

**Κριτήριο αντιστοίχισης 3:** Είναι μια επέκταση του κριτηρίου 2, που λαμβάνει υπόψη τη συνολική επικάλυψη των δύο εξεταζόμενων θραυσμάτων. Έτσι, το κριτήριο 3 απαιτεί ότι σε μία θέση όπου τα κριτήρια 1 και 2 ήδη κατέχουν, η συνολική επικάλυψη μεταξύ των ψηφιακών αναπαραστάσεων των συγκεκριμένων θραυσμάτων πρέπει να είναι μικρότερη από ένα κατάλληλο όριο  $\tau^{FO}$ . Βρήκαμε ότι μια πολύ καλή τιμή για το  $\tau^{FO}$  είναι ένα πολύ μικρό ποσοστό 0,3% του ελάχιστου όγκου των θραυσμάτων A, B.

**Κριτήριο αντιστοίχισης 4:** Η χειρότερη περίπτωση όπου οι υποπεριοχές ικανοποιούν το Κριτήριο 1.

Θα ορίσουμε ένα τέταρτο κριτήριο, το οποίο είναι απαραίτητη προϋπόθεση. Ωστόσο αυτό το κριτήριο δρα ως ένα πρώτο “φίλτρο απόρριψης αντιστοίχισης”, έχοντας επιταχύνει δραστικά την απόδοση του εν λόγω συστήματος 3D αυτόματης ανακατασκευής. Η βασική ιδέα μπορεί να περιγραφεί ως εξής: Ας υποθέσουμε ότι σε μια ορισμένη θέση των θραυσμάτων A, B επιτυγχάνεται η τέλεια αντιστοίχιση, με την έννοια ότι  $\tau_{k,m}$  είναι μηδέν ή ισοδύναμα οι κρημνοί  $E_k^F, E_{k,m}^R$  συμπίπτουν. Σε αυτήν την ιδανική περίπτωση, σε κάθε σημείο των κρημνών τα μοναδιαία

διανύσματα κάθετα προς αυτούς  $\vec{n}_F$  και  $\vec{n}_R$  είναι αντίθετα. Δεδομένου ότι στην πράξη θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη την παρουσία αναπόφευκτων κενών μεταξύ θραυσμάτων που αντιστοιχίζονται, κατά τη διαδικασία της αποκατάστασης θραυσμένων αντικειμένων θα συναντήσουμε παρεκλίσεις από την ιδανική περίπτωση.

**Κριτήριο αντιστοίχισης 5:** Άλλη μια αναγκαία συνθήκη για την αντιστοίχιση.

Το περιεχόμενο αυτού του κριτηρίου αντιστοίχισης μπορεί διαισθητικά να περιγραφεί ως εξής: Υποθέτουμε ότι τα δύο θραύσματα είναι σε επαφή στο κ-οστό ριxel του  $C^F$  και στο μ-οστό ριxel του  $C^R$ . Σε αυτή τη θέση το αρχικό  $B_k^S$  και τελικό  $B_k^T$  σύνορο των επιφανειών ορίζονται ξεκάθαρα. Στη διαδικασία δοκιμής, αν αυτή η θέση είναι πρακτικά θέση αντιστοίχισης, το θραύσμα B περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα κάθετο στο επίπεδο xy, διερχόμενο από το σημείο επαφής των δύο θραυσμάτων που στιγμιαία έχουμε θεωρήσει σταθερό. Καθώς το θραύσμα B περιστρέφεται, σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να μην τέμνει το τελικό συνοριακό επίπεδο ή να συμβαίνει το αντίθετο, σχηματίζοντας έναν περιστρεφόμενο κρημνό  $E_{k,m}^R$  πολύ μεγάλο και πολύ “μακρινό” από έναν σταθερό κρημνό. Ως εκ τούτου τίθεται το ερώτημα: “πώς συνδέεται το μέγιστο επιτρεπόμενο πλάτος  $E_{k,m}^R$  με τη μέγιστη αποδεκτή τιμή  $\tau^T$  του  $V_{k,m}$ ”; Σύμφωνα με ορισμένες πολύ εύλογες συνθήκες που επαληθεύονται στην πράξη, μπορεί κάποιος να εκφράσει το πλάτος του  $E_{k,m}^R$  μέσω του μήκους της περιστρεφόμενης αλυσίδας  $\Gamma_{k,m}^R$ . Με άλλα λόγια, η παραπάνω ερώτηση τώρα επαναδιατυπώνεται ως εξής: “πόσο μήκος μπορεί να έχει η περιστρεφόμενη αλυσίδα  $\Gamma_{k,m}^R$  ούτως ώστε να ικανοποιούνται τα Κριτήρια 1 και

4;”. Η απάντηση στην ερώτηση δίνεται χρησιμοποιώντας τις αρχές του λογισμού των μεταβολών.

### **Εφαρμογή της μεθόδου**

Οι συγγραφείς αρχικά, δοκίμασαν τη μέθοδο και το σύστημα, στην περίπτωση όπου ένα αντικείμενο έχει σπάσει τεχνητά. Στην πραγματικότητα, μια δοκιμαστική πλάκα τοποθετήθηκε μέσα σε ένα σφραγισμένο σάκο, ο οποίος με τη σειρά του αφέθηκε σε ελεύθερη πώση από ένα ορισμένο ύψος. Το αποτέλεσμα της παραπάνω ενέργειας ήταν να σπάσει η πλάκα σε εννέα θραύσματα. Η εφαρμογή της μεθόδου προσέφερε μοναδική λύση στο πρόβλημα της αντιστοίχισης ανάμεσα σ’ αυτά τα θραύσματα και ως εκ τούτου η πλάκα ανακατασκευάστηκε εικονικά.

Στη συνέχεια, οι συγγραφείς σάρωσαν 41 θραύσματα, προερχόμενα από την Τίρυνθα και τις Μυκήνες, τα οποία ανήκουν στον μυκηναϊκό πολιτισμό και χρονολογούνται πριν από το 1100 π.Χ. Αυτά τα θραύσματα φυλάσσονται αποθηκευμένα στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο στην Ελλάδα όπου αναμένεται η ανακατασκευή τους. Το σύστημα που αναπτύχθηκε πρόσφερε 8 νησίδες ταιριαστών θραυσμάτων, όπου κάθε νησίδα αποτελείτο από 2-5 κομμάτια.

Οι συγγραφείς της μεθόδου, σκοπεύουν να την εφαρμόσουν, όπως και το σύστημα, σε μεγαλύτερης κλίμακας ανακατασκευή, με τα πιο πιθανά ευρήματα που θα λάβουν μέρος σ’ αυτή, τις τοιχογραφίες του 1650 π.Χ. που ανασύρθηκαν σε χιλιάδες κομμάτια από το Ακρωτήρι στη Θήρα. Τελικά, η μεθοδολογία επεκτείνεται για να μπορεί να εφαρμοστεί σε περισσότερες γενικές περιπτώσεις, όχι μόνο σε τοιχογραφίες, αλλά και στην ανακατασκευή σπασμένων γλυπτών.



---

### **3. Προεπεξεργασία των θραυσμάτων πριν τον έλεγχο ταιριάσματος**

### **3.1 Πρώτο στάδιο προεπεξεργασίας: εντοπισμός βέλτιστου επιπέδου αναφοράς(πάνω ζωγραφισμένης επιφάνειας)**

Η μέθοδος ψηφιακής επεξεργασίας των θραυσμάτων των τοιχογραφιών πριν τον έλεγχο του ταιριάσματος, μπορεί να περιγραφεί στα παρακάτω βήματα.

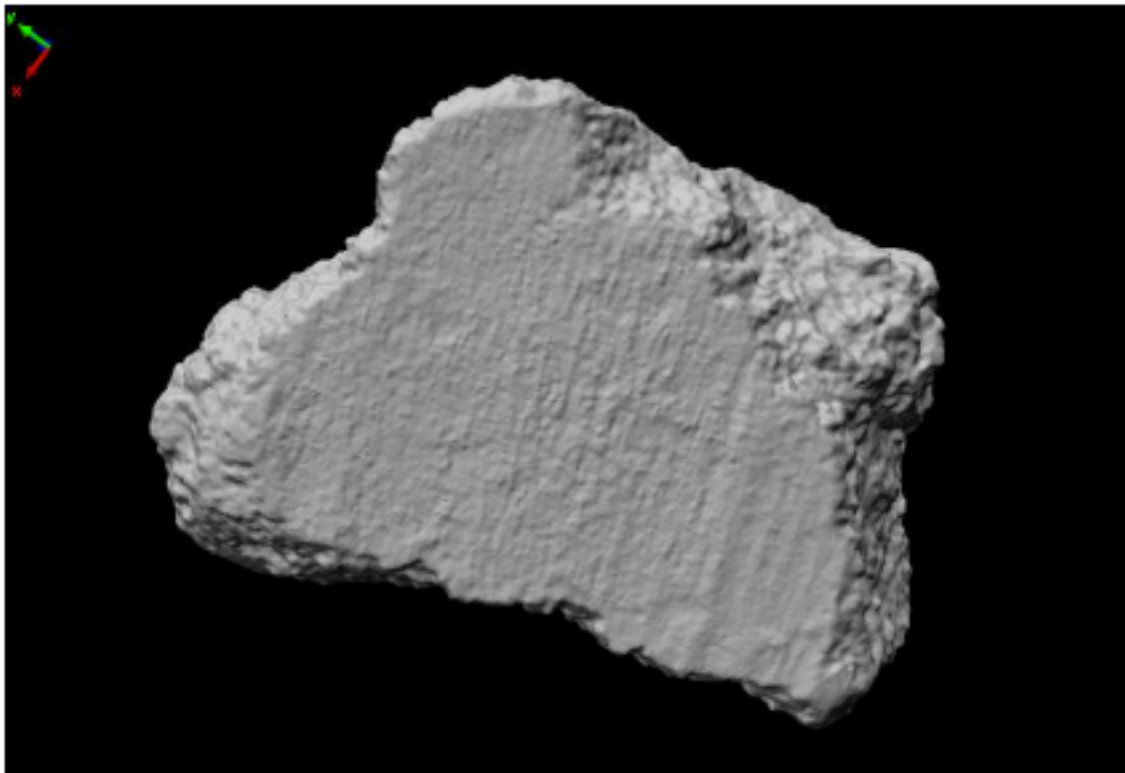
#### **Βήμα 1°**

Με τη χρήση ενός κατάλληλου προγράμματος επεξεργασίας τρισδιάστατων εικόνων «φορτώνουμε» το αρχείο .stl.



**Εικόνα 3.1.1: Θραυσμένο αντικείμενο προς επεξεργασία**

Περιστρέφουμε κατάλληλα το αντικείμενο ώστε να εμφανιστεί στην οθόνη η άνω επιφάνεια του θραύσματος, όπως στην εικόνα 3.1.2



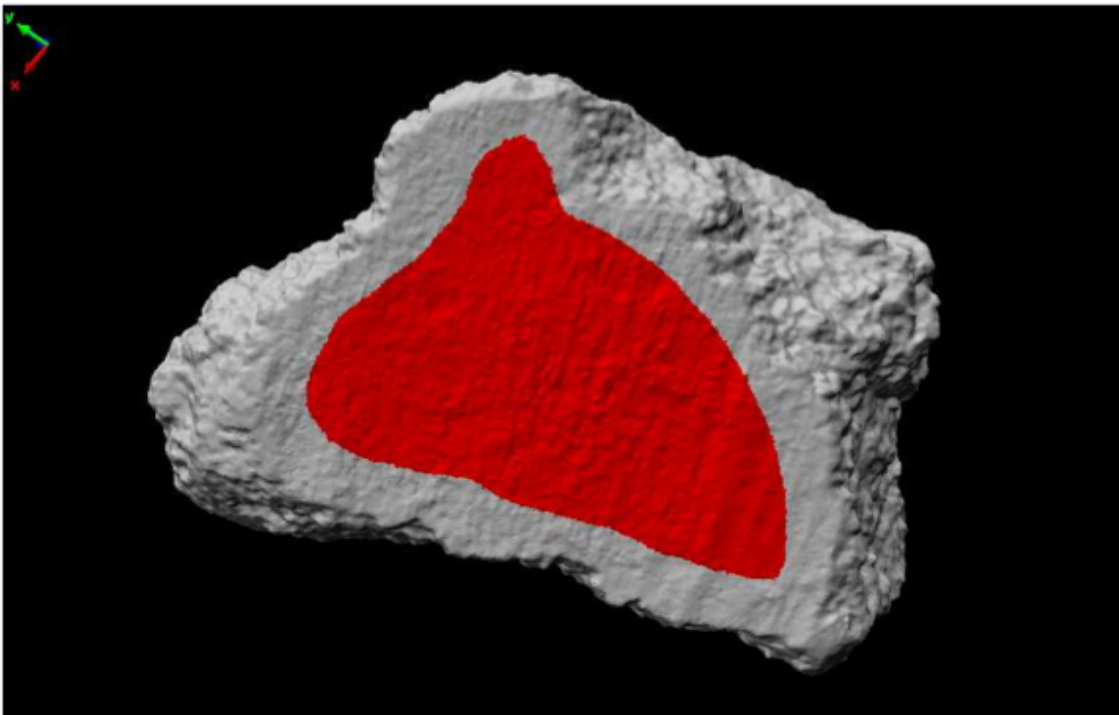
**Εικόνα 3.1.2: Άνω επιφάνεια θραύσματος**

Η άνω επιφάνεια του θραύσματος είναι αυτή που μας ενδιαφέρει. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1.2, η άνω επιφάνεια λαμβάνεται τριγωνοποιημένη, δεν είναι εντελώς λεία και επίπεδη όπως είναι ένα μαθηματικό επίπεδο. Παρόλες όμως τις ατέλειές της, μπορεί να προσομοιωθεί από ένα βέλτιστο επίπεδο με πολύ μικρά σφάλματα.

Πριν την προεπεξεργασία του θραύσματος, αποθηκεύουμε την παραπάνω εικόνα σ' ένα φάκελο ως αρχείο .stla που θα χρησιμοποιηθεί σε επόμενο βήμα.

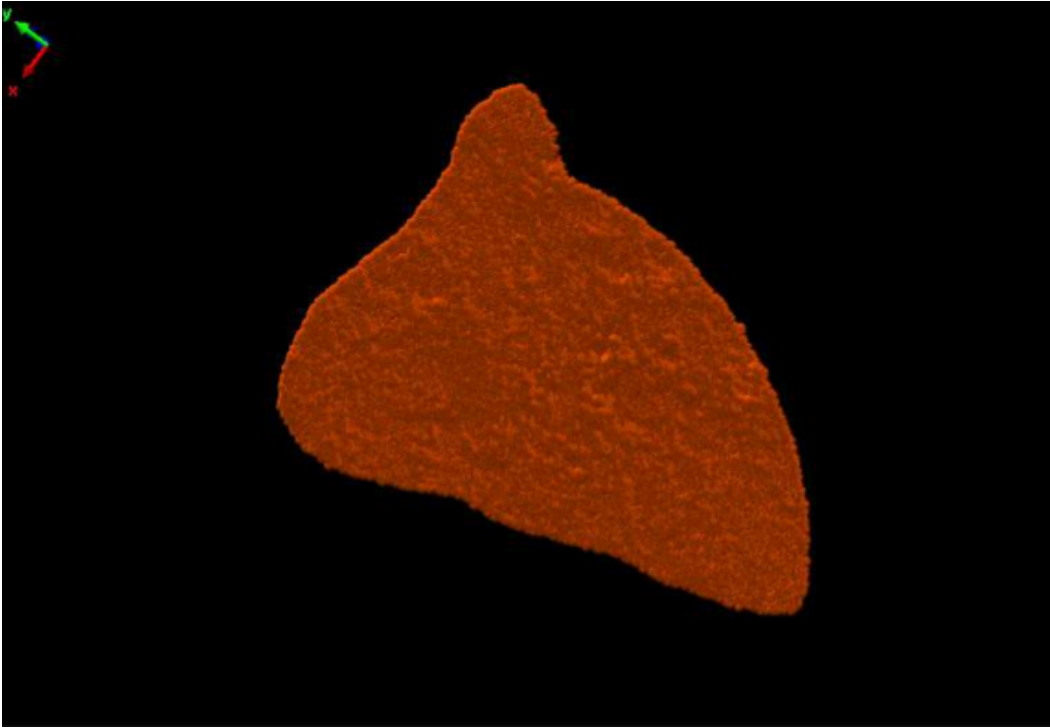


Ο σκοπός του πρώτου βήματος, είναι η εξαγωγή όλων των κάθετων διανυσμάτων στην άνω επιφάνεια του θραύσματος. Οι ατέλειες που έχει αυτή(σ.σ. η άνω επιφάνεια), ενδέχεται να οδηγήσουν σε σφάλματα, γι' αυτό το λόγο δε χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε όλη την άνω επιφάνεια, αλλά το «τέλειο» μέρος αυτής. Δηλαδή το κατάλληλο μέρος της που θα δώσει την περισσότερη πληροφορία ώστε να προσομοιωθεί με ένα επίπεδο.



**Εικόνα 3.1.3: Επιλεγμένο μέρος την άνω επιφάνειας που θα χρησιμοποιηθεί για βέλτιστο επίπεδο**

Οι συνεταγμένες στο καρτεσιανό σύστημα  $(x,y,z)$  των καθέτων διανυσμάτων σε καθε τρίγωνο εξάγονται και αποθηκεύονται σ' ένα αρχείο κειμένου .txt.



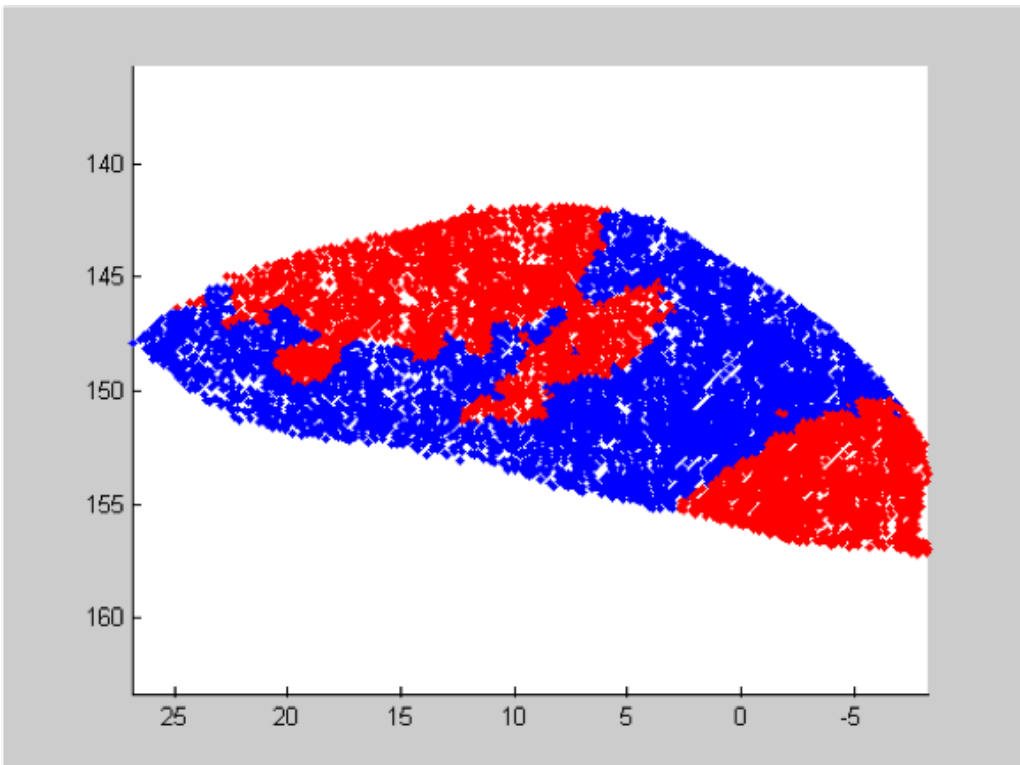
**Εικόνα 3.1.4: Κάθετα διανύσματα στην άνω επιφάνεια**

### **Βήμα 2°**

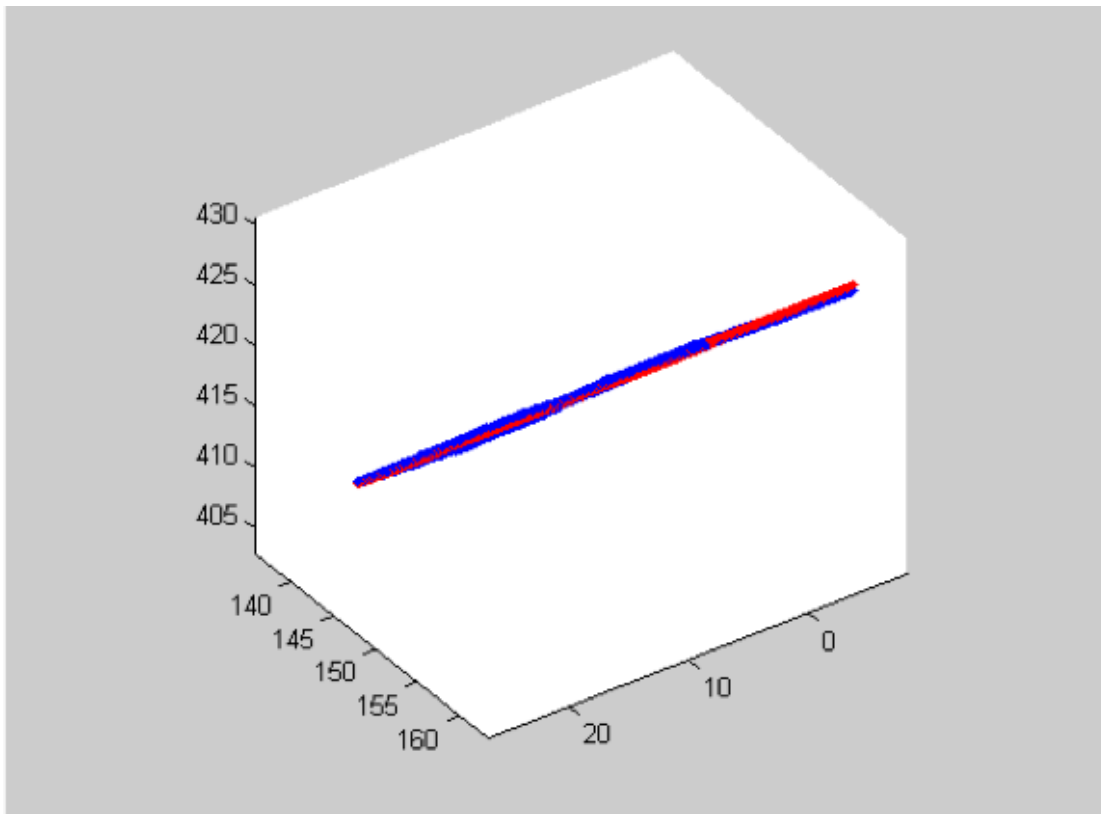
Χρησιμοποιούμε τα αποτελέσματα του πρώτου βήματος για να βρούμε το βέλτιστο επίπεδο που προσομοιώνει την άνω επιφάνεια του θράυσματος. Έχοντας το αρχείο με τα κάθετα διανύσματα σε κάθε κέντρο του τριγώνου της εξεταζόμενης επιφάνειας, εκτελούμε τον κώδικα που βρίσκει το βέλτιστο επίπεδο. Το εξαγώμενο είναι η οπτικοποίηση του επιπέδου, όπου γίνεται και ο έλεγχος της διαδικασίας, καθώς και ένα αρχείο κειμένου που γράφει το κάθετο διάνυσμα στο βέλτιστο επίπεδο και το σφάλμα με το οποίο υπολογίζεται το επίπεδο.

Για παράδειγμα το παρακάτω διάνυσμα στο χώρο, προσεγγίζει το βέλτιστο επίπεδο που αντιστοιχεί σ ένα από τα κονιάματα της εργασίας μας:

3.7550589979751553e-002  
9.1461782135080480e-002  
-4.0061103521164637e+002



**Εικόνα 3.1.5: Βέλτιστο επίπεδο εξεταζόμενου θραύσματος**



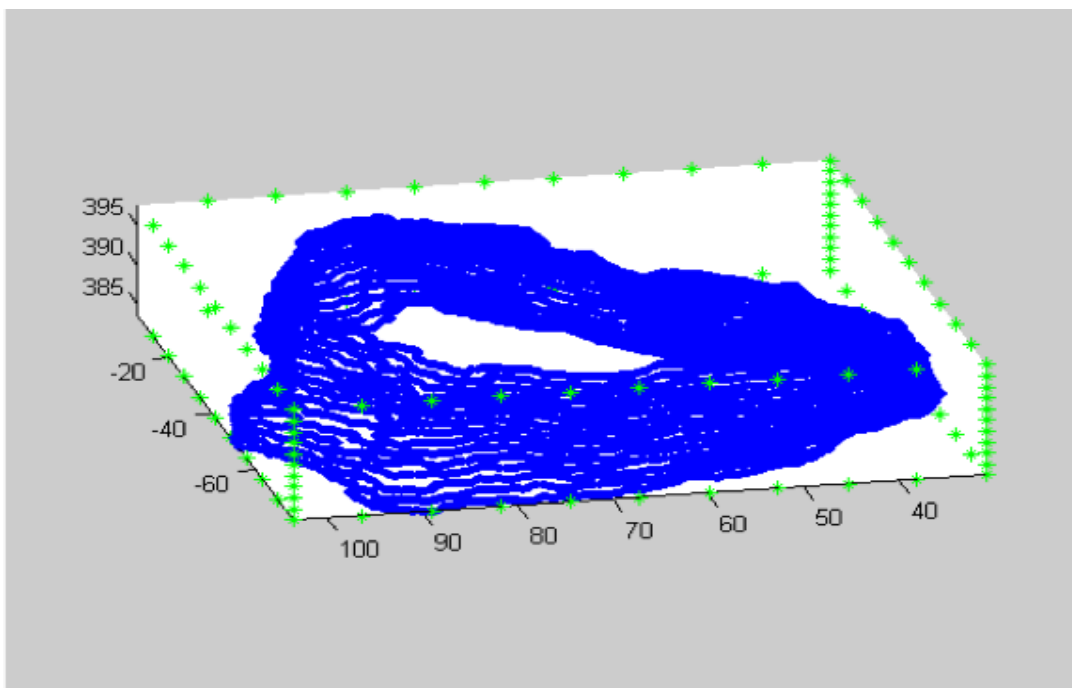
**Εικόνα 3.1.6:** Το επίπεδο της εικόνας 3.1.5 από διαφορετική οπτική γωνία.

### **3.2 Δεύτερο στάδιο: Παράλληλες τομές του θραύσματος**

Σε αυτό το στάδιο, εκτελούμε ένα πρόγραμμα γραμμένο στην γλώσσα προγραμματισμού C, το οποίο υπολογίζει τις τομές για κάθε θραύσμα, με δεδομένο το βέλτιστο επίπεδο της άνω επιφάνειας από την παραπάνω προεπεξεργασία. Δηλαδή με αυτόν τον τρόπο λαμβάνουμε ένα σύνολο επιπέδων παράλληλο προς αυτό της άνω επιφάνειας καθ' όλο το μήκος του κάθετου άξονα στο βέλτιστο επίπεδο. Τα επίπεδα καθορίζονται από το κάθετο διάνυσμα σ' αυτά και η έξοδος του κώδικα είναι οι συντεταγμένες των διανυσμάτων που περιγράφουν τα σημεία τομής

σε αρχείο κειμένου .txt. Ο κώδικας αυτός βρίσκει τα επίπεδα των τομών με την ίδια λογική με την οποία βρίσκουμε το βέλτιστο επίπεδο της άνω επιφάνειας.

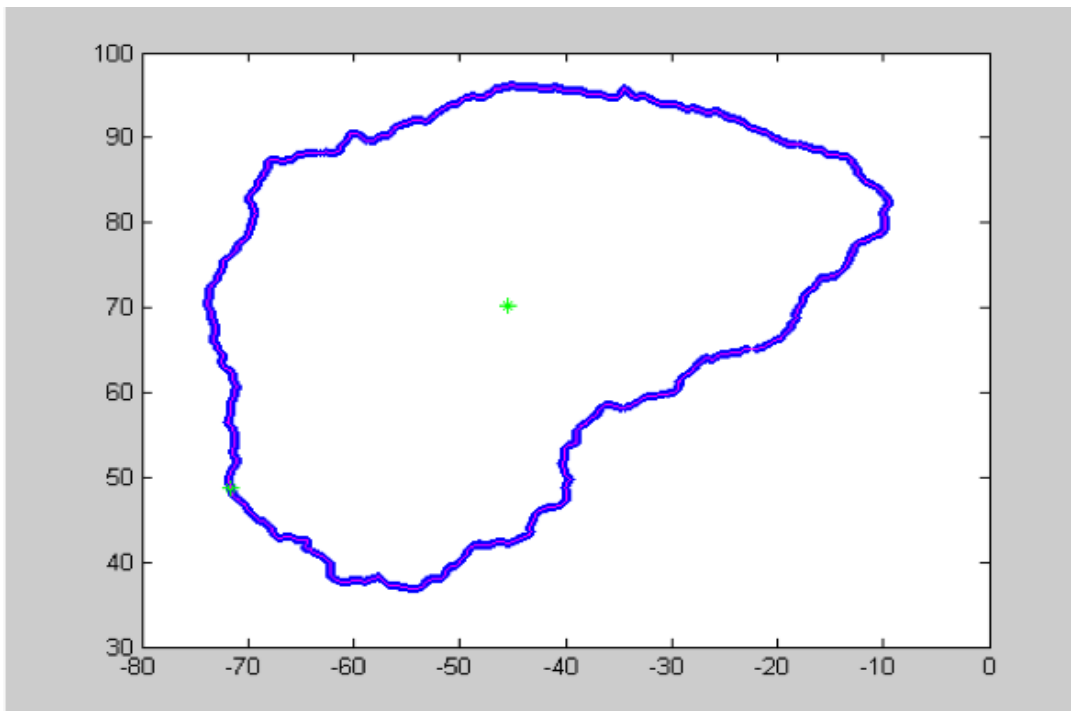
Ο σκοπός είναι τα θραύσματα να συνενωθούν και γι' αυτό πρέπει οι άνω επιφάνειες όλων να είναι στο ίδιο επίπεδο. Η διαδικασία απαιτεί η άνω επιφάνεια να γίνει παράλληλη με το  $xy$  - επίπεδο. Αυτό επιτυγχάνεται κάνοντας το κάθετο διάνυσμα συγγραμικό με τον  $z$  - άξονα, με εφαρμογή κατάλληλων περιστροφών Euler. Άρα οι υπόλοιπες τομές θα είναι επίπεδα παράλληλα στο  $xy$ -επίπεδο.



**Εικόνα 3.2.1: Στραμμένο θραύσμα**

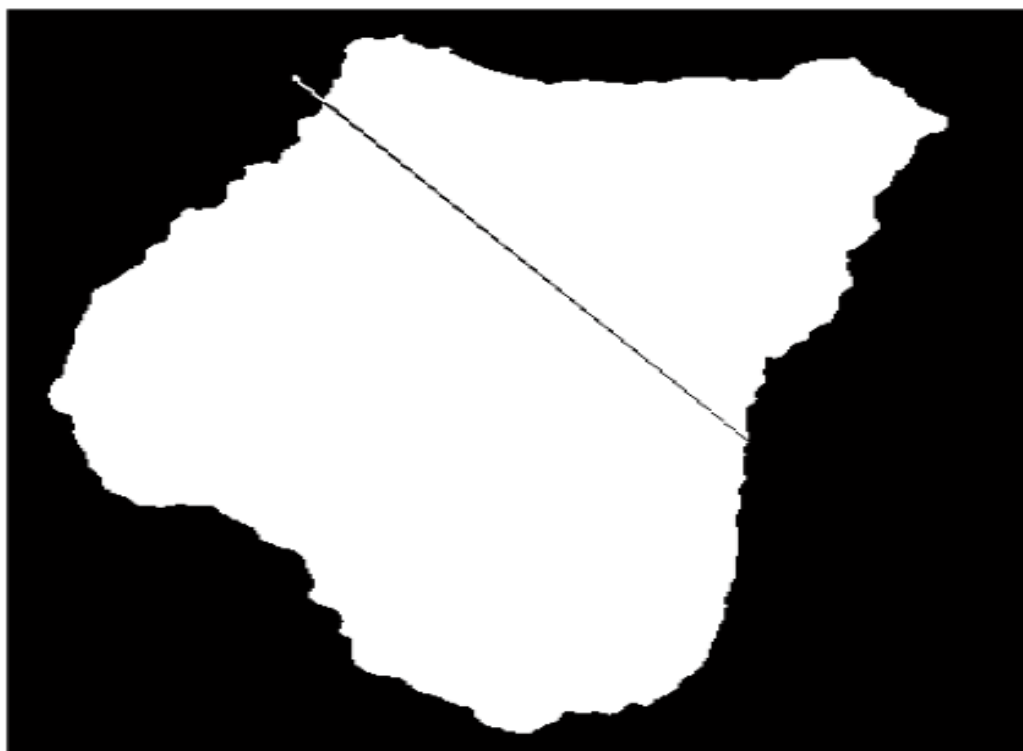
### **3.3 Τρίτο στάδιο:Εξαγωγή περιγράμματος ανά τομή**

Ο κώδικας που εκτελούμε εδώ, βρίσκει το περίγραμμα του θραύσματος που αντιστοιχεί στην κάθε τομή και παράλληλα γίνεται έλεγχος οπτικά αν αυτό είναι συνεκτικό.



**Εικόνα 3.3.1: Περίγραμμα θραύσματος ανά τομή**

Στην εικόνα 3.3.1, φαίνεται η στραμμένη τομή από την οποία υπολογίζεται το ακριβές συνεκτικό περίγραμμα. Επειδή το θραύσμα περιέχει ατέλειες, ενδέχεται σε κάθε τομή να υπάρχουν κενά που να εμποδίζουν το σχηματισμό ξεκάθαραυ περιγράμματος και γι' αυτό γίνεται οπτικός έλεγχος για το αν το περίγραμμα είναι ενιαίο, κάθετο και συνεκτικό, αν δεν είναι, ειδικός προσανατολισμένος κώδικας εκτελείται για να γεμίσει τα κενά.



**Εικόνα 3.3.2:** Το περίγραμμα είναι ασαφές και συνεπώς θα υπάρξει σφάλμα στο σχεδιάσμό του.



**Εικόνα 3.3.3:** Σαφές περίγραμμα

## 3.4 Αναλυτική περιγραφή του κώδικα

Οι κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής, παρουσιάζονται σ' ένα γενικό περίγραμμα στα παρακάτω υποκεφάλαια.

### 3.4.1 Περιγραφή του κώδικα που βρίσκει το βέλτιστο επίπεδο στην άνω επιφάνεια του κονιάματος

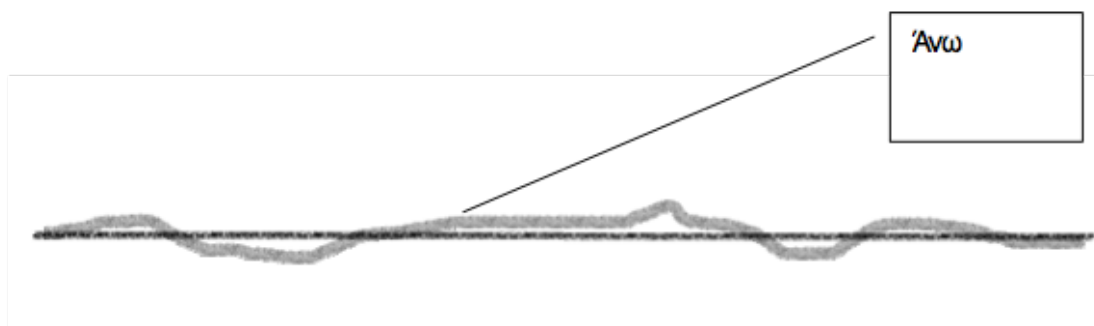
Ο κώδικας αυτός βρίσκει το επίπεδο που προσομοιώνει με βέλτιστο τρόπο την άνω επιφάνεια του κονιάματος. Δηλαδή, βρίσκει το επίπεδο αυτό που θα ήταν η άνω επιφάνεια αν ήταν εντελώς λεία και επίπεδη.

Θεωρούμε μια βοηθητική δομή που αποτελείται από δύο παράλληλα επίπεδα  $\varepsilon_1$  και  $\varepsilon_2$  και σε πολύ μικρή απόσταση, τόσο μεταξύ τους όσο και από το παράλληλο προς αυτά μέσο επίπεδο  $\varepsilon_\mu$ . Η δομή αυτή σαρώνει το χώρο περνώντας από όλες τις θέσεις του. Στη θέση που περιορίζει βέλτιστα το άνω επίπεδο του κονιάματος, αναμένεται να ικανοποιούνται οι παρακάτω τρεις συνθήκες.

1. Ο αριθμός των εγκλωβισμένων σημείων από τα επίπεδα  $\varepsilon_1$  και  $\varepsilon_2$  είναι σχετικά μέγιστος με όλες τις άλλες θέσεις της δομής στο χώρο.
2. Θεωρούμε την προσημασμένη απόσταση όλων των σημείων της άνω επιφάνειας του κονιάματος από το μεσοεπίπεδο της δομής  $\varepsilon_\mu$ . Το πρόσημο επιλέγεται συμβατικά. Στη θέση βέλτιστης τοποθέτησης της δομής, η μέση τιμή των αποστάσεων των προσημασμένων αποστάσεων των σημείων της



άνω τομής του κονιάματος από το  $\epsilon_{\mu}$ , αναμένεται να είναι πλησιέστερα στο μηδέν από οποιαδήποτε άλλη θέση.



**Εικόνα 3.4.1: Εύρεση του βέλτιστου επιπέδου της άνω επιφάνειας**

*Ας αναλύσουμε ποιοτικά αυτή τη συνθήκη:*

Λόγω του κεντρικού οριακού θεωρήματος, είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι οι προσημασμένες αποστάσεις από το  $\epsilon_{\mu}$  ακολουθούν κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$  και διασπορά  $\sigma^2$ . Στη θέση βέλτιστης τοποθέτησης του  $\epsilon_{\mu}$  ως προς τα σημεία της άνω τομής, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η πιθανότητα ένα σημείο της τομής να βρίσκεται στην ίδια πλευρά με το  $\epsilon_1$  σχετικά πάντα με το  $\epsilon_{\mu}$  είναι ίδια με την πιθανότητα να βρίσκεται στην ίδια πλευρά με το  $\epsilon_2$ . Αυτό σημαίνει ότι η κατανομή των προσημασμένων αποστάσεων που εξετάζουμε είναι συμμετρική ως προς το μηδέν.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο εύρος της δομής. Δηλαδή η απόσταση των επιπέδων  $\epsilon_1$  και  $\epsilon_2$ , να είναι αρκετά μεγάλη για να χωράει ολόκληρη την άνω τομή και να περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος των σημείων της κυματώδους άνω τομής.

3. Στη θέση βέλτιστης προσαρμογής το άθροισμα του τετραγώνου των αποστάσεων θα είναι ελάχιστο.

Στην πράξη, η υλοποίηση αυτή γίνεται ως εξής: έστω τυχαίο επίπεδο, στην προκειμένη περίπτωση το  $\epsilon_\mu$  με εξίσωση  $Ax+By+\Gamma z+\Delta=0$ . Η απόσταση του τυχαίου σημείου  $(x_0, y_0, z_0)$  από το  $\epsilon_\mu$  είναι  $|Ax_0+By_0+\Gamma z_0-\Delta|$  δια μία σταθερά.

Στη θέση βέλτιστης προσαρμογής της δομής, τα σημεία της άνω τομής θα έχουν τη μικρότερη δυνατή συνολική απόσταση από το  $\epsilon_\mu$  και μέση τιμή μηδέν.

### 3.4.2 Περιγραφή του κώδικα που υπολογίζει τις τομές των κονιαμάτων

Ο κώδικας της C χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν τη μέθοδο με σκοπό το κάθε κονίαμα να τμηθεί σε τομές παράλληλες με την άνω επιφάνειά του.

Η είσοδος του κώδικα είναι ένα αρχείο .stla καθώς και ένα αρχείο .txt για κάθε κονίαμα. Τα αρχεία .stla περιέχουν κωδικοποιημένα σε μορφή ASCII τα κάθετα διανύσματα και τα διανύσματα των τριγώνων που συνθέτουν την εξωτερική επιφάνεια των κονιαμάτων. Τα αρχεία .txt παρέχουν στον κώδικα τις συντεταγμένες του κάθετου διανύσματος της άνω επιφάνειας. Στην έξοδό του ο κώδικας δίνει τις τομές του κονιάματος, οι οποίες είναι παράλληλα επίπεδα στην άνω επιφάνεια και προσδιορίζονται όπως το επίπεδο αυτής(σ.σ. της άνω επιφάνειας) δηλαδή από το κάθετο διάνυσμα στο βέλτιστο επίπεδο. Με λίγα λόγια, η έξοδος του κώδικα είναι αρχεία .txt που το καθένα περιέχει τις συντεταγμένες του κάθετου διανύσματος της κάθε τομής.

Η βασική ιδέα του κώδικα των τομών είναι η εξής:

Ελέγχουμε το χώρο σε σχέση με το επίπεδο-τομή με τη χρήση μιας μεταβλητής. Αν είναι στο ίδιο επίπεδο με την τομή παίρνει την τιμή μηδέν, αν είναι κάτω από αυτήν παίρνει αρνητική τιμή και αν είναι πάνω, θετική. Στη συνέχεια

εντοπίζουμε τη θέση του σημείου και ανάλογα τοποθετούμε το διάνυσμα στην τομή. Βρίσκουμε το σημείο τομής μεταξύ ενός επιπέδου και του άξονα που συνδέει δύο σημεία. Συλλέγοντας πολλά τέτοια σημεία τομής βρίσκουμε τελικά την επιφάνεια της τομής.

### 3.4.3 Περιγραφή του κώδικα στροφής επιπέδου

#### Γενική ιδέα

Έστω  $Ax+By+Cz+D=0$  ένα τυχαίο επίπεδο. Το κάθετο διάνυσμα σε αυτό είναι το ανάδελτα του αριστερού μέλους, δηλαδή το  $n=Ai+Bj+Ck$ . Το  $n$  σχηματίζει με το  $k$  μία γωνία  $\psi$ . Επιπλέον, τα δύο αυτά διανύσματα ορίζουν ένα επίπεδο. Έστω  $m$  το κάθετο διάνυσμα σε αυτό το επίπεδο, το οποίο είναι το εξωτερικό γινόμενο των δύο αυτών διανυσμάτων. Το κάθετο αυτό διάνυσμα  $m = Bi-Aj$  κείται επί του  $xy$  επιπέδου.

#### Βήματα

1. Υπολογίζουμε την προσημασμένη γωνία
2. Στρέφουμε ως προς τον  $z$  άξονα κατά τη γωνία  $\phi$ , πολλαπλασιάζοντας με τη μήτρα:

$$\begin{bmatrix} \cos(\phi) & -\sin(\phi) & 0 \\ \sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Τώρα το  $m$  κείται και στο  $xz$ -επίπεδο

3. Υπολογίζουμε τη γωνία .
4. Στρέφουμε ως προς τον  $x$  άξονα κατά γωνία  $\psi$ , πολλαπλασιάζοντας με τη μήτρα:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\psi) & -\sin(\psi) \\ 0 & \sin(\psi) & \cos(\psi) \end{bmatrix}$$

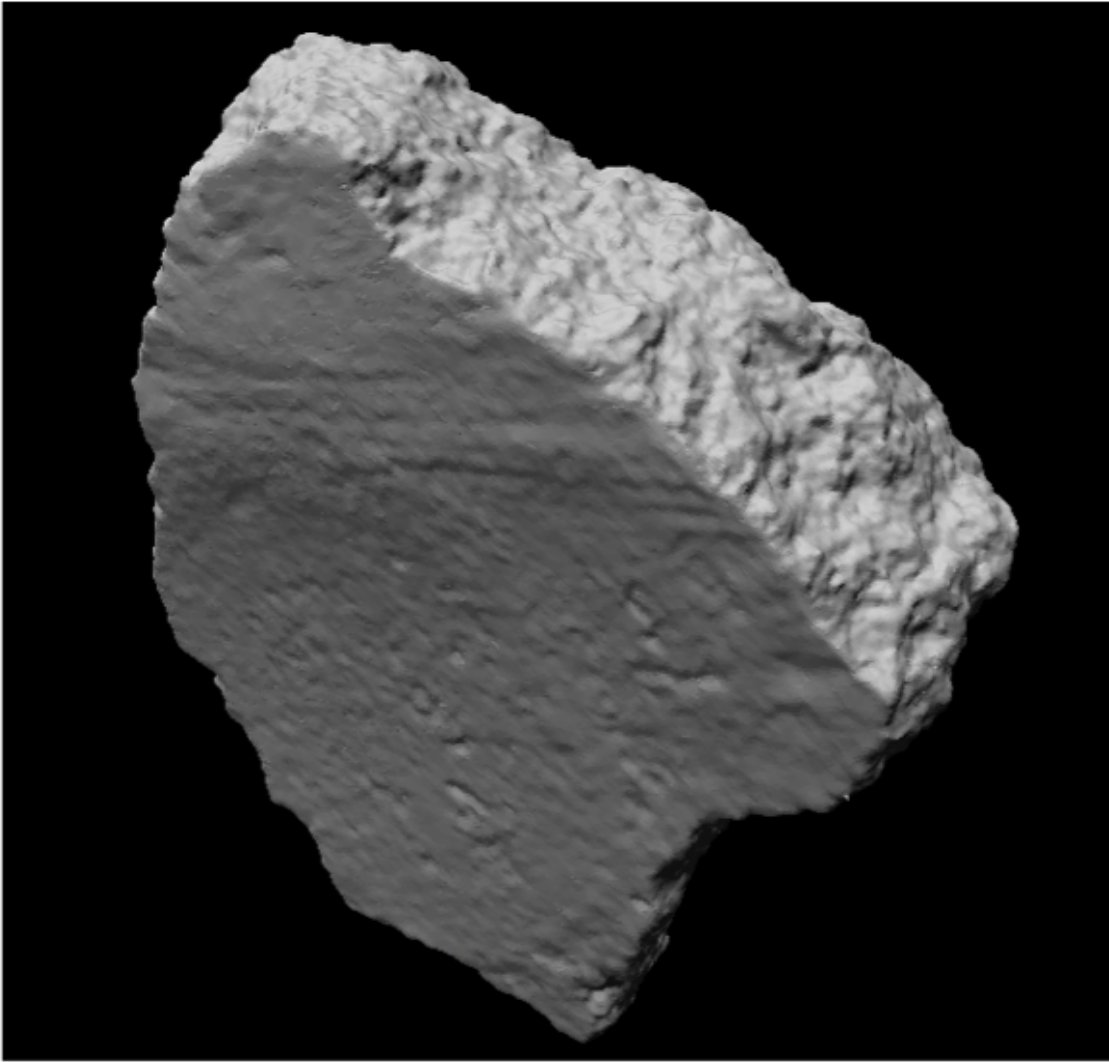
#### 3.4.4 Περιγραφή του κώδικα που βρίσκει το περίγραμμα του κονιάματος για κάθε τομή

Ο κώδικας αυτός βρίσκει το περίγραμμα κάθε τομής με τα παρακάτω βήματα:

1. Βρίσκουμε το κέντρο βάρους
2. Βρίσκουμε τη γωνία επιβατικών ακτίνων από το κέντρο βάρους όλων των σημείων
3. Παίρνουμε μια διαμέριση από  $-\pi$  ως  $\pi$  με βήμα  $1/1000$ , βρίσκουμε τις γωνίες κάθε τομέα και παίρνουμε το μέσο όρο των  $x$  και  $y$  που ανήκουν σ' αυτόν τον τομέα. Αυτό είναι το σημείο του περιγράμματος.

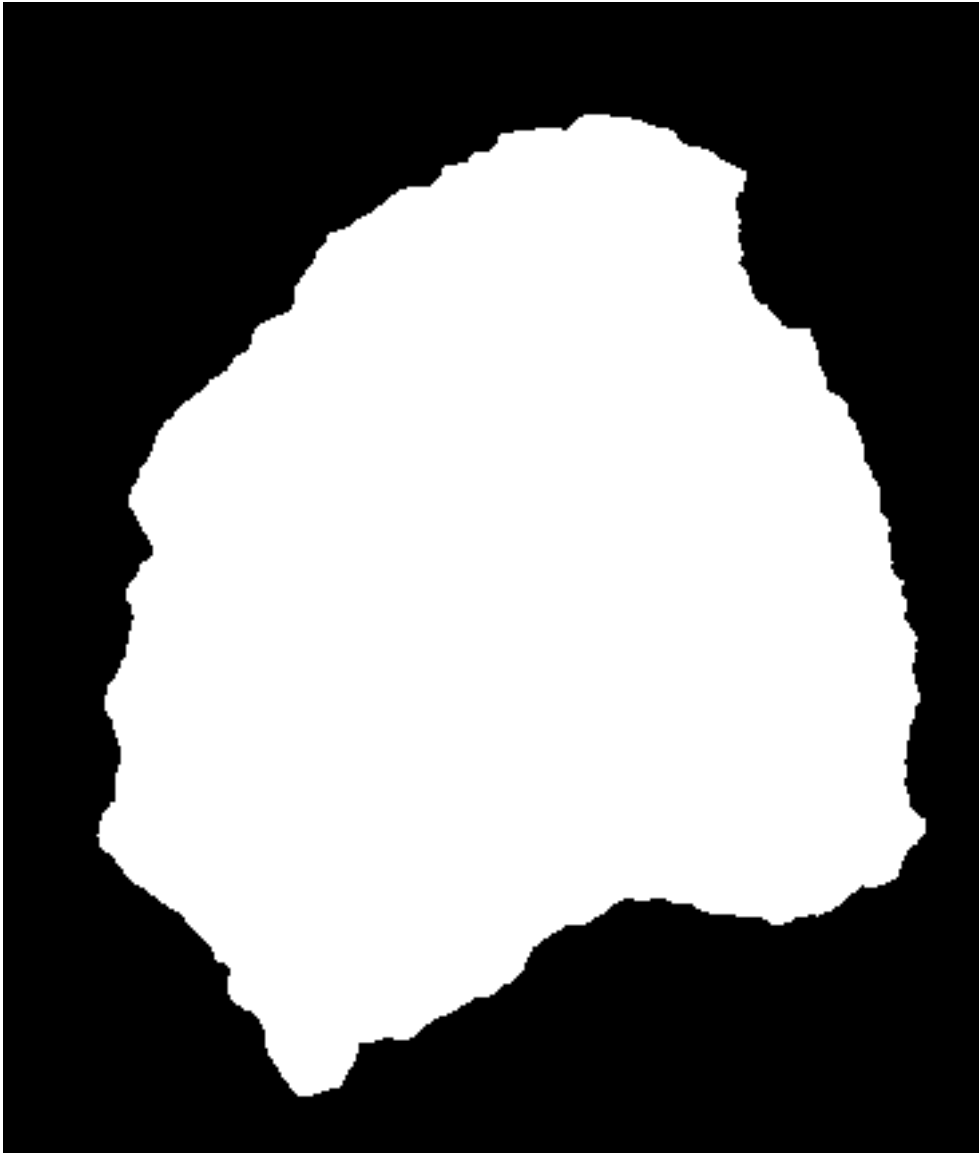
#### 3.4.5 Εδεικτικά αποτελέσματα ενός κονιάματος

Στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής η μέθοδος εφαρμόστηκε σε ενενήντα κονιάματα

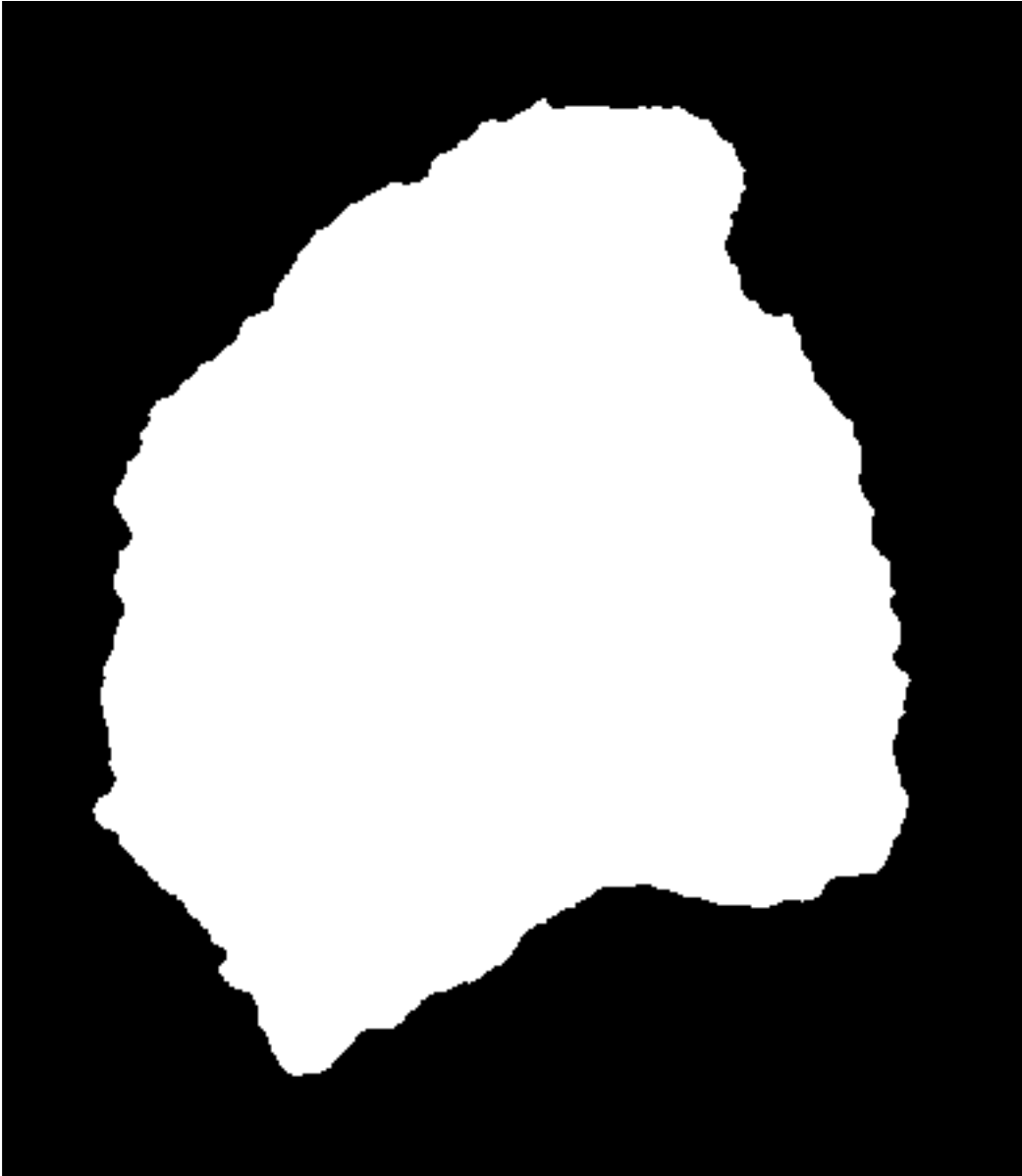


**Εικόνα 3.4.2: Το κονίαμα ως τρισδιάστατη εικόνα**

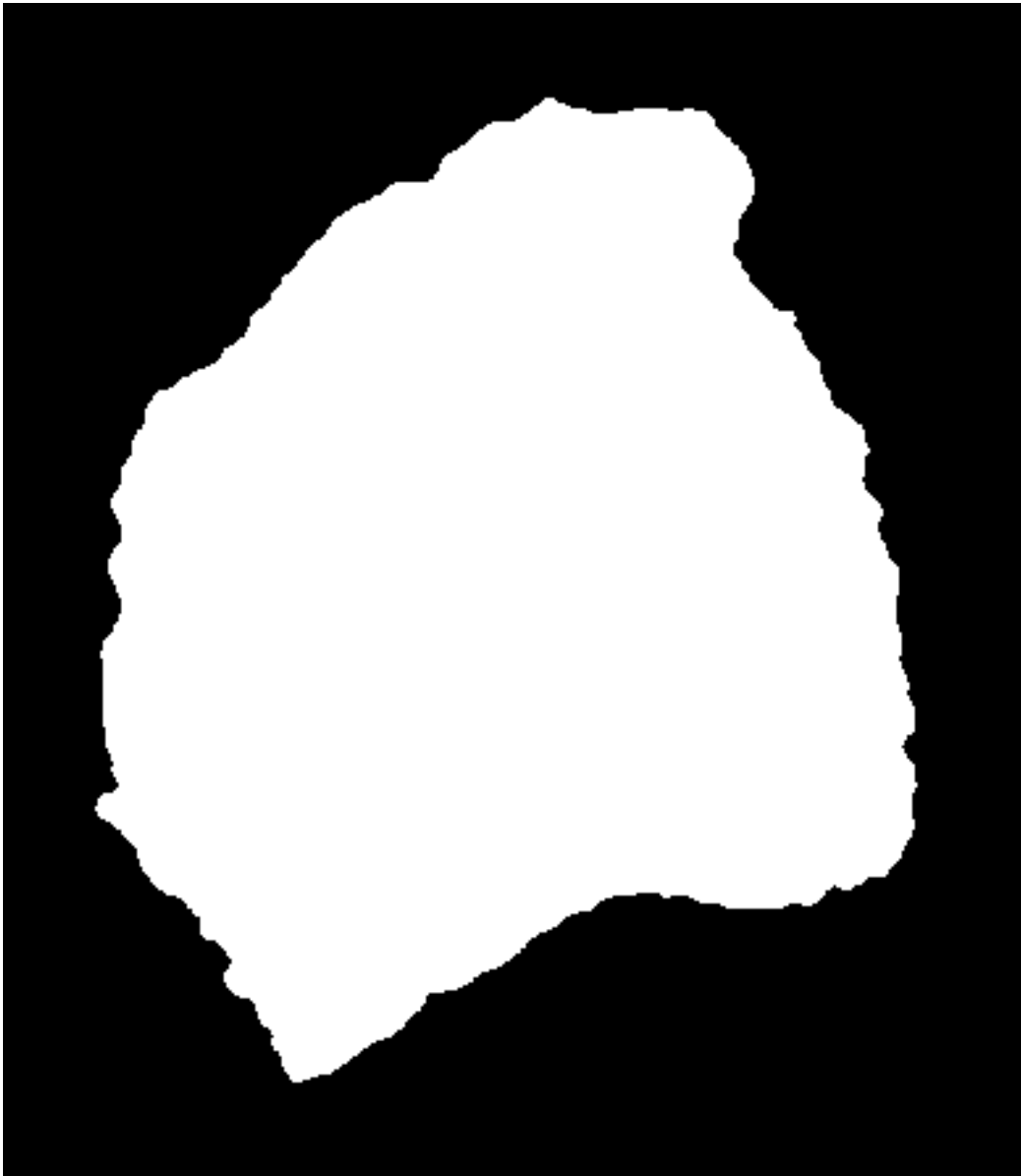
Στις παρακάτω εικόνες (4.4.α έως 4.4.ιστ) φαίνονται τα περιγράμματα των πρώτων δεκαέξι τομών, τα οποία αρκούν για τον σκοπό της αυτοματοποιημένης συνένωσης του συγκεκριμένου κονιάματος με τα γειτονικά του. Η πρώτη εικόνα είναι η άνω επιφάνεια και ακολουθούν οι επόμενες κατά βάθος.



**Εικόνα 4.4.α.: Περίγραμμα πρώτης τομής (άνω επιφάνεια)**

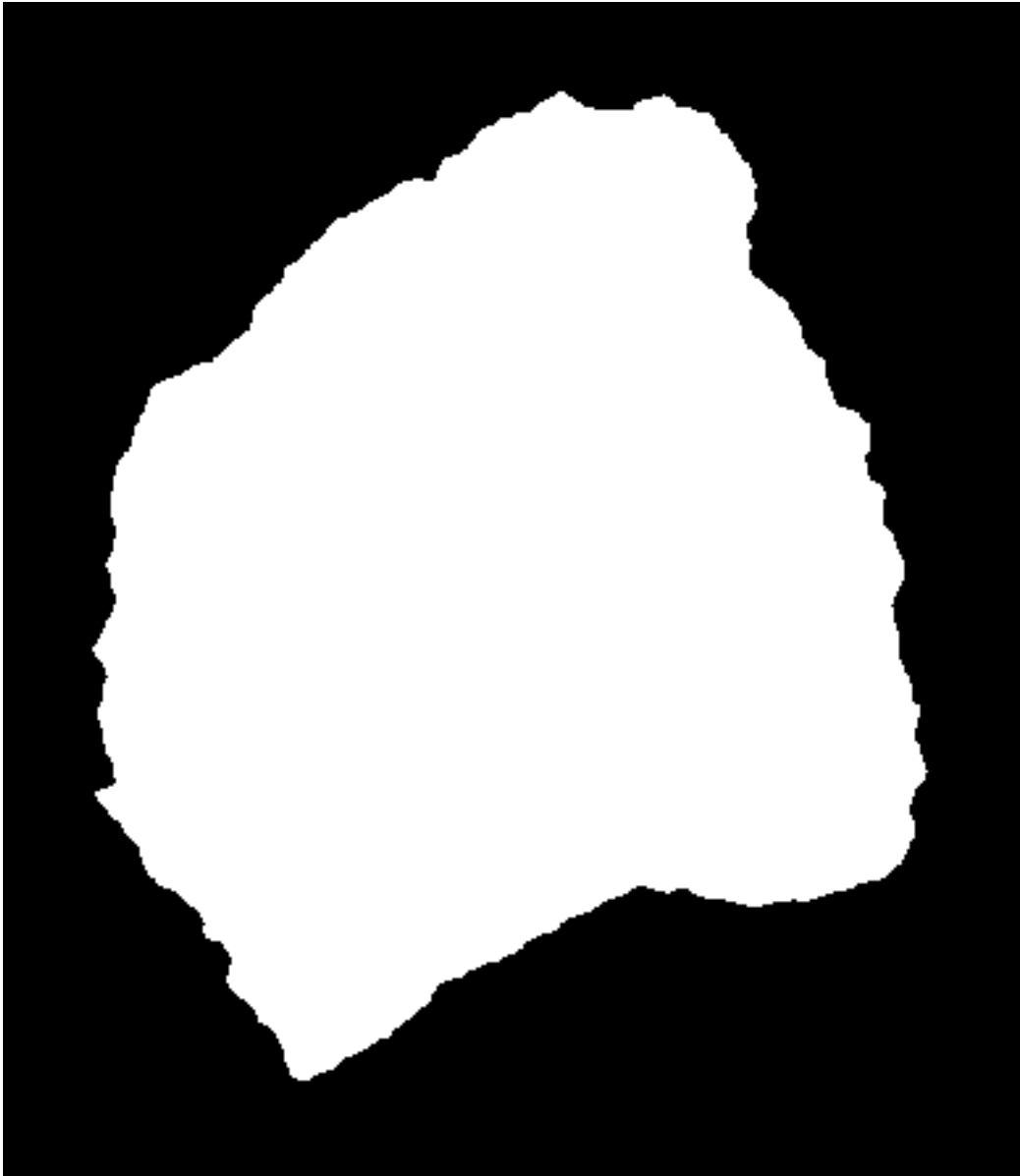


**Εικόνα 4.4.β.: Περίγραμμα δεύτερης τομής**

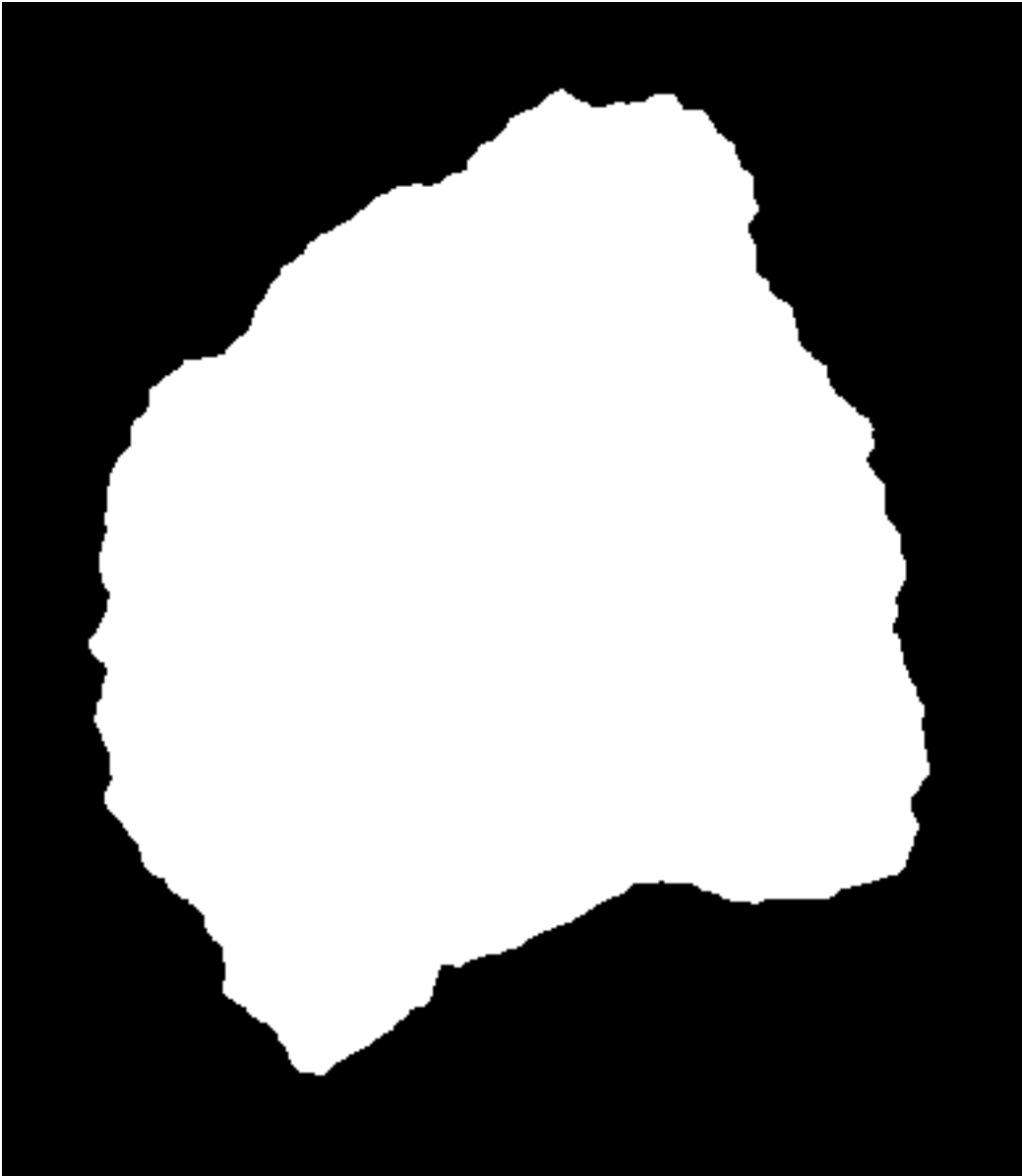


**Εικόνα 4.4.γ.: Περίγραμμα τρίτης τομής**

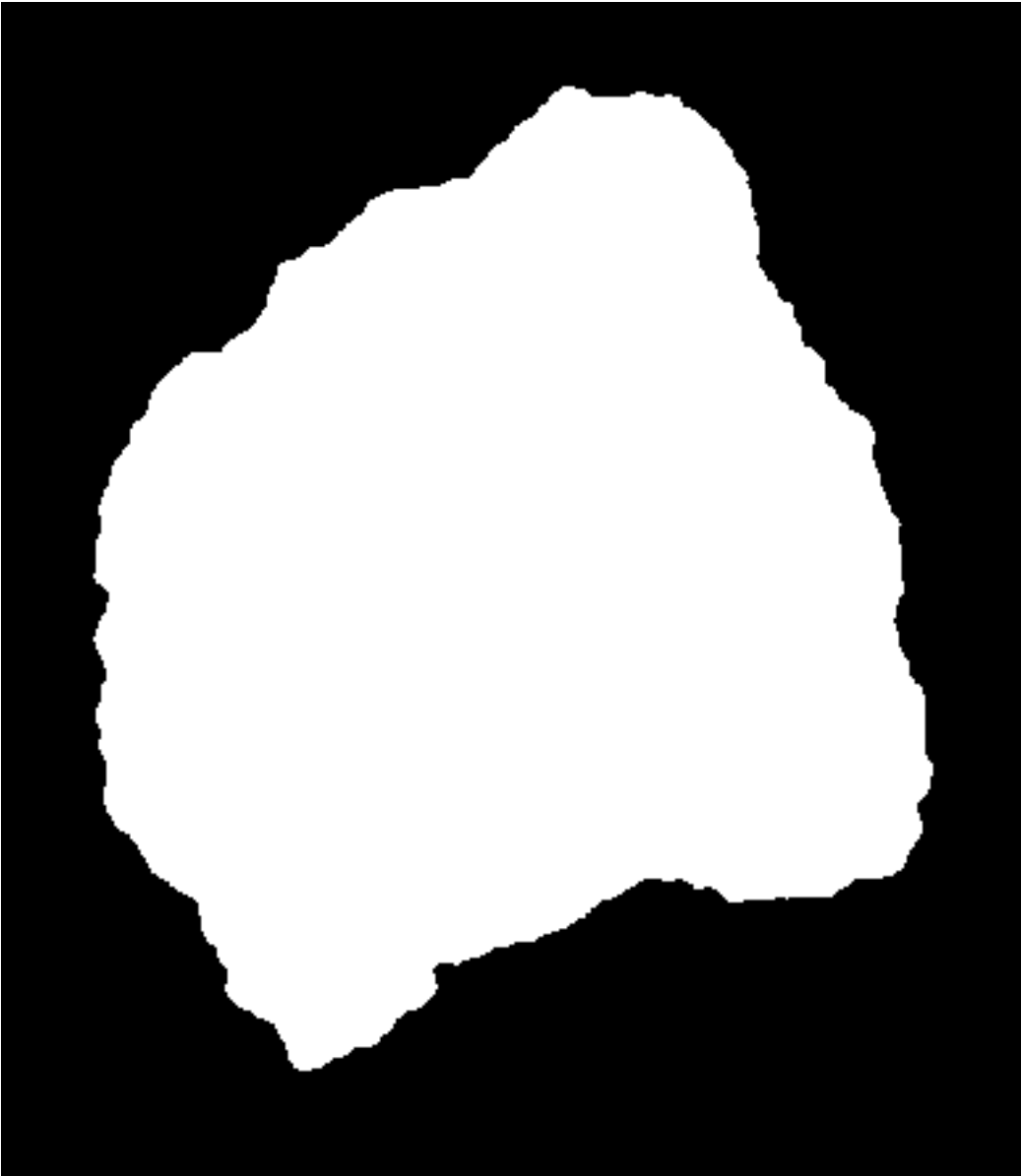




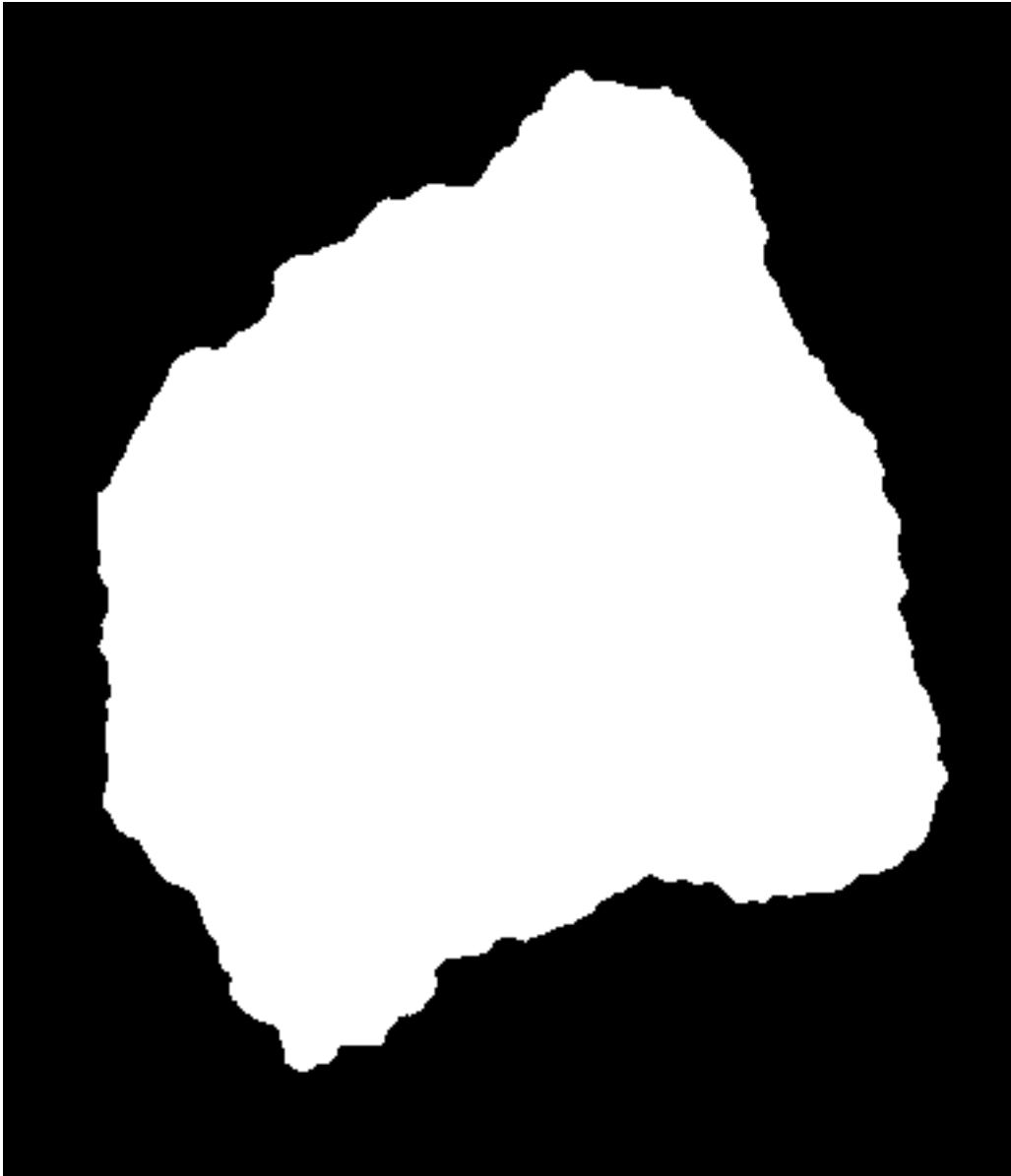
**Εικόνα 4.4.δ.: Περίγραμμα τέταρτης τομής**



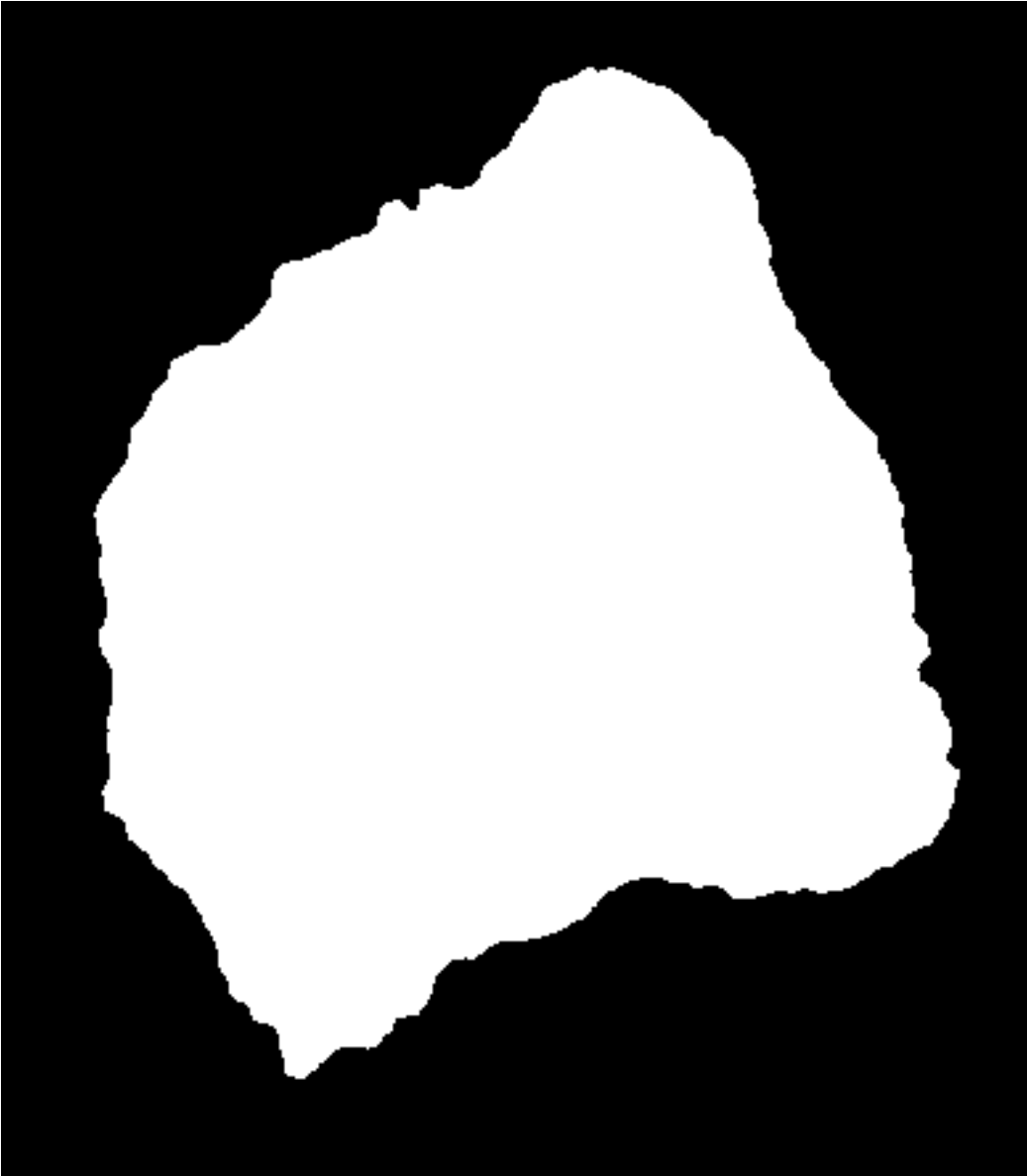
**Εικόνα 4.4.ε.: Περίγραμμα πέμπτης τομής**



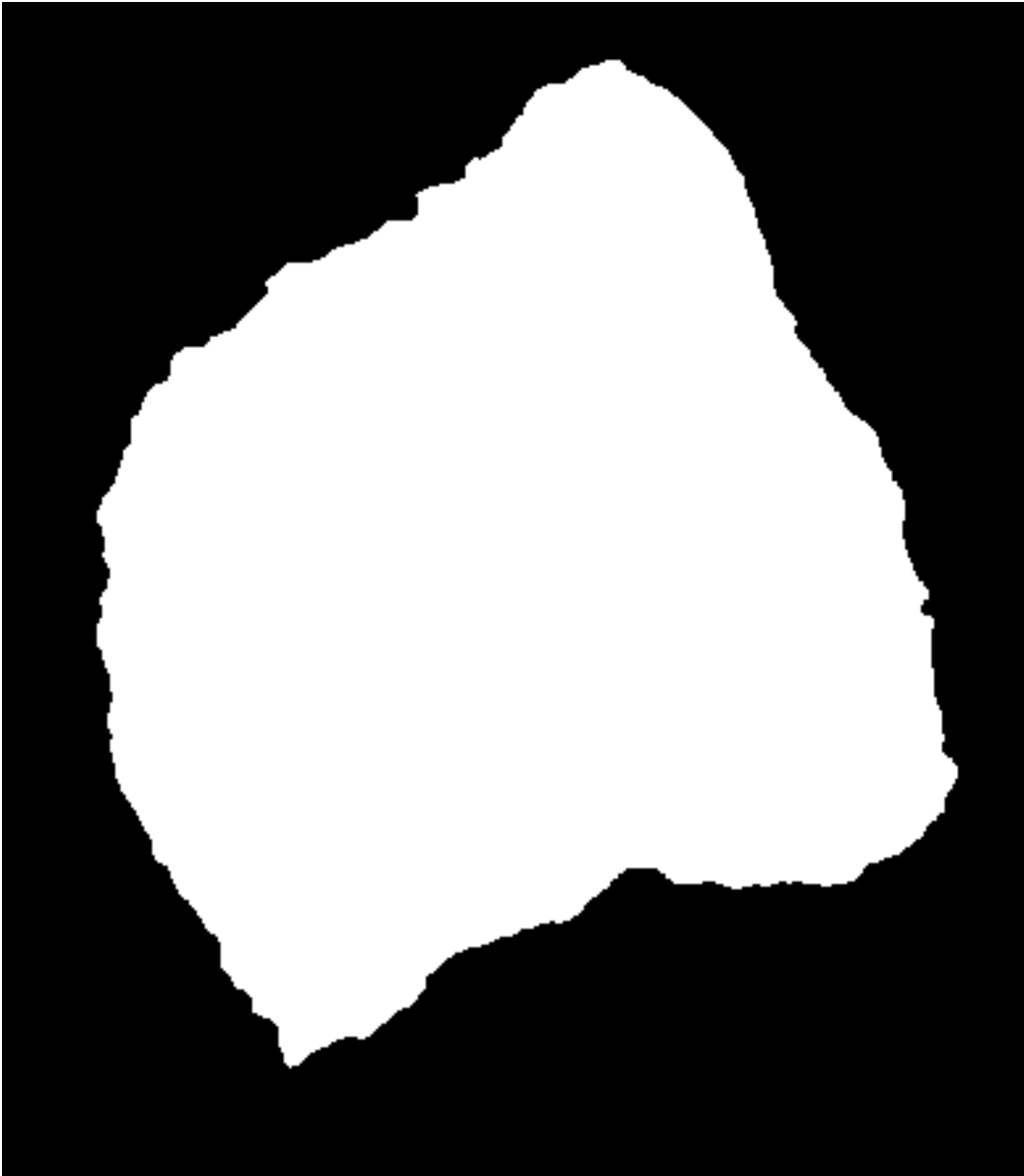
**Εικόνα 4.4.στ.: Περίγραμμα έκτης τομής**



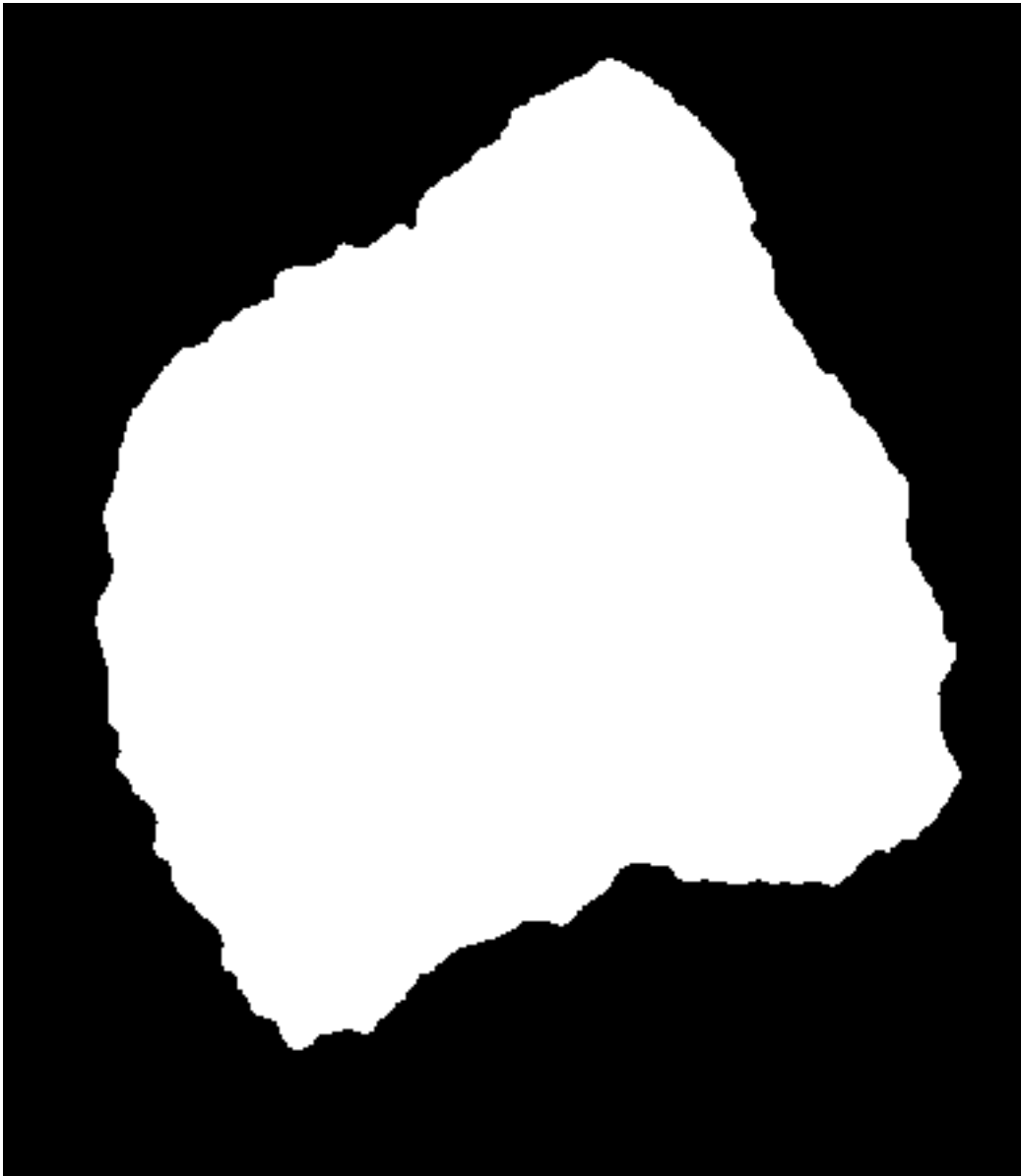
**Εικόνα 4.4.ζ: Περίγραμμα έβδομης τομής**



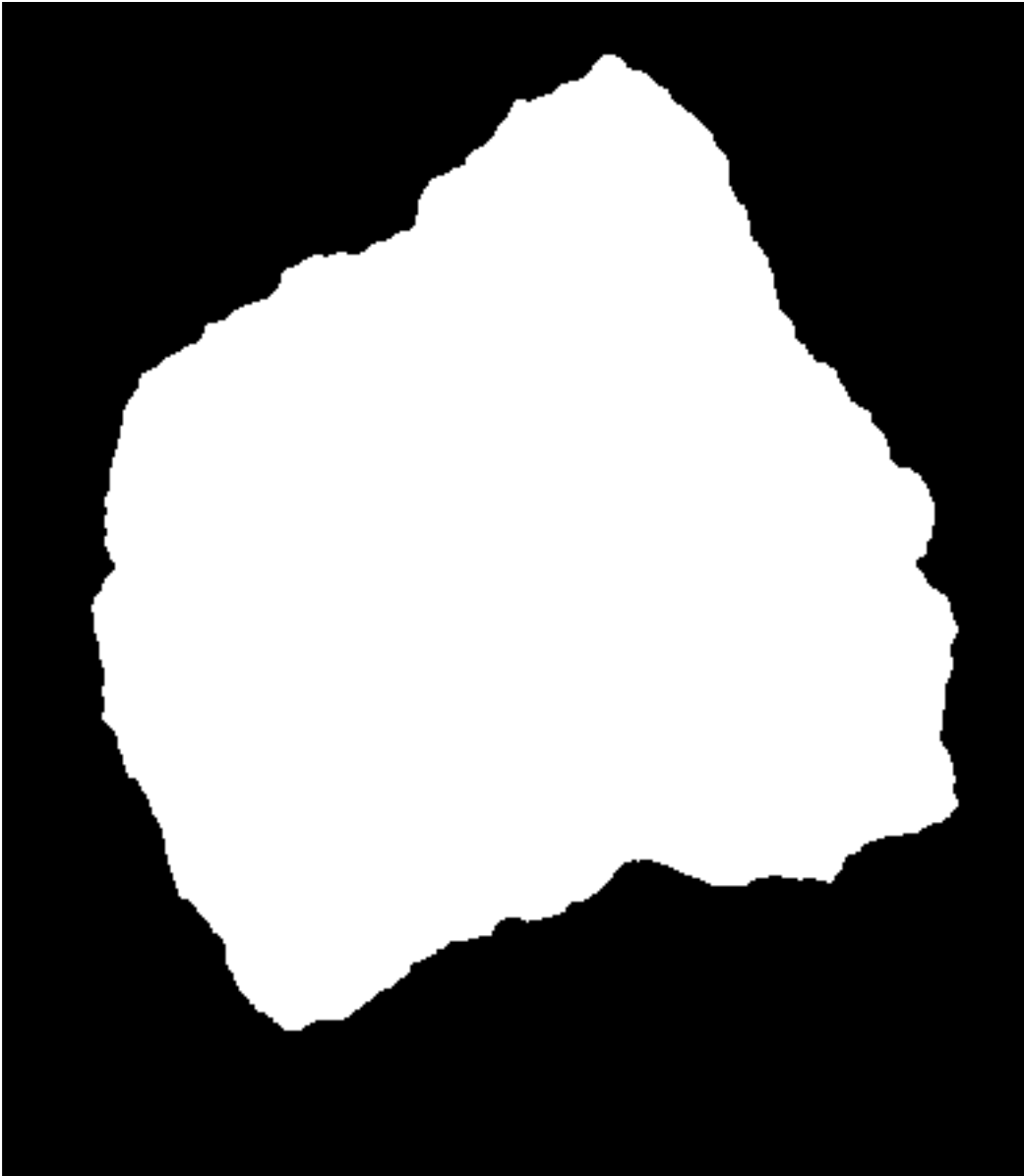
**Εικόνα 4.4.η.: Περίγραμμα όγκου τομής**



**Εικόνα 4.4.θ.: Περίγραμμα ένατης τομής**

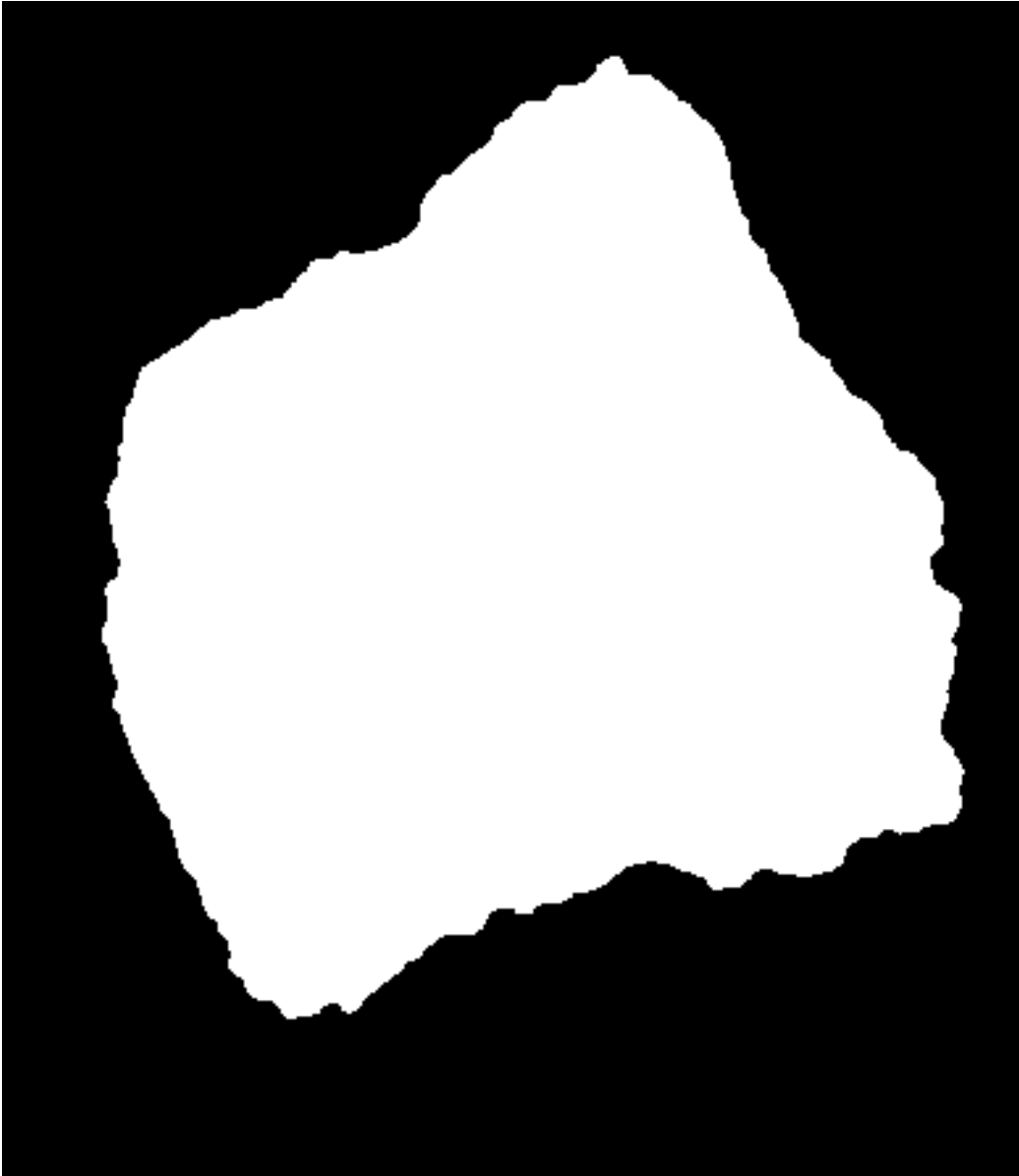


**Εικόνα 4.4.ι.: Περίγραμμα δέκατης τομής**

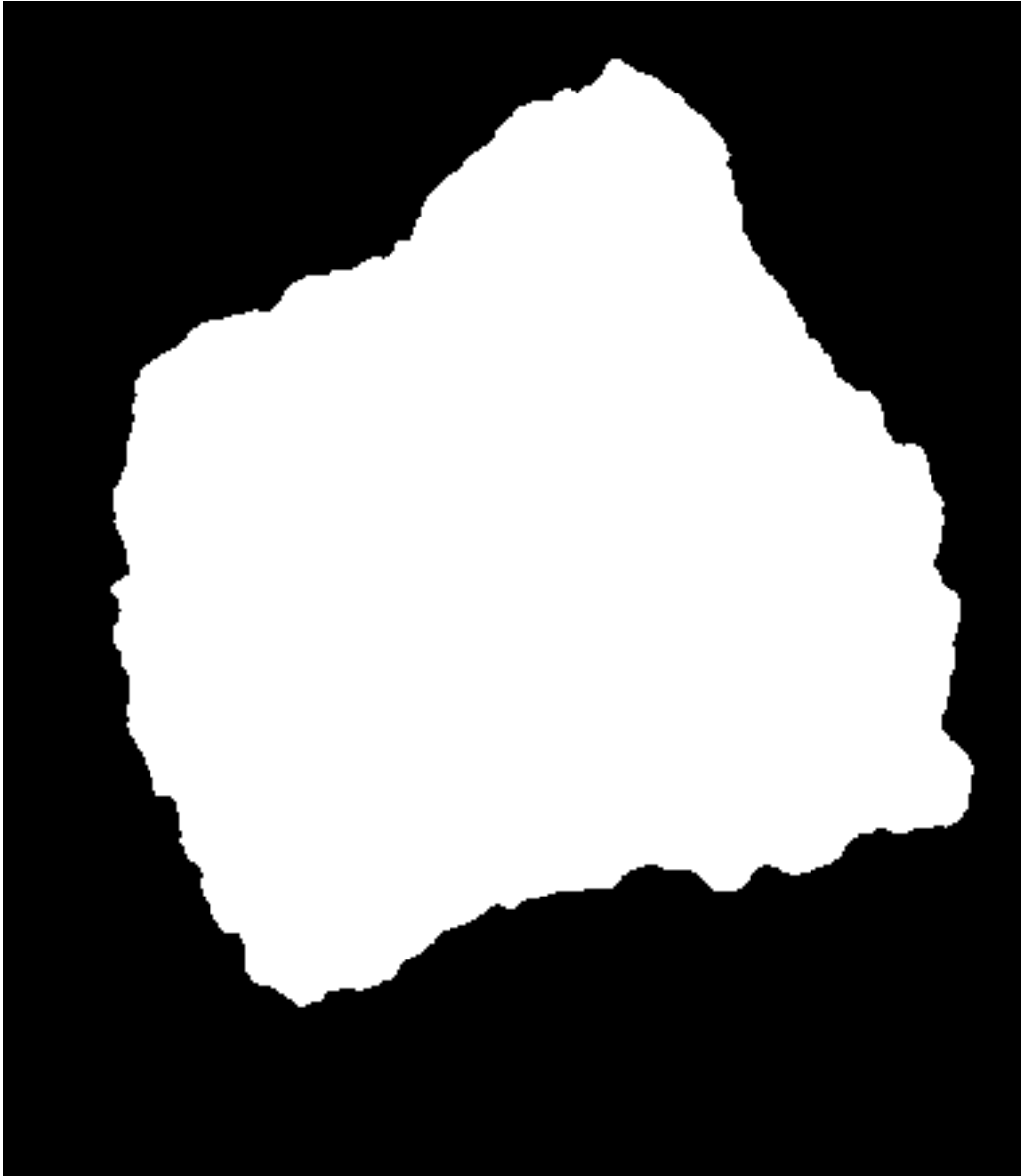


**Εικόνα 4.4.ια.: Περίγραμμα ενδέκατης τομής**

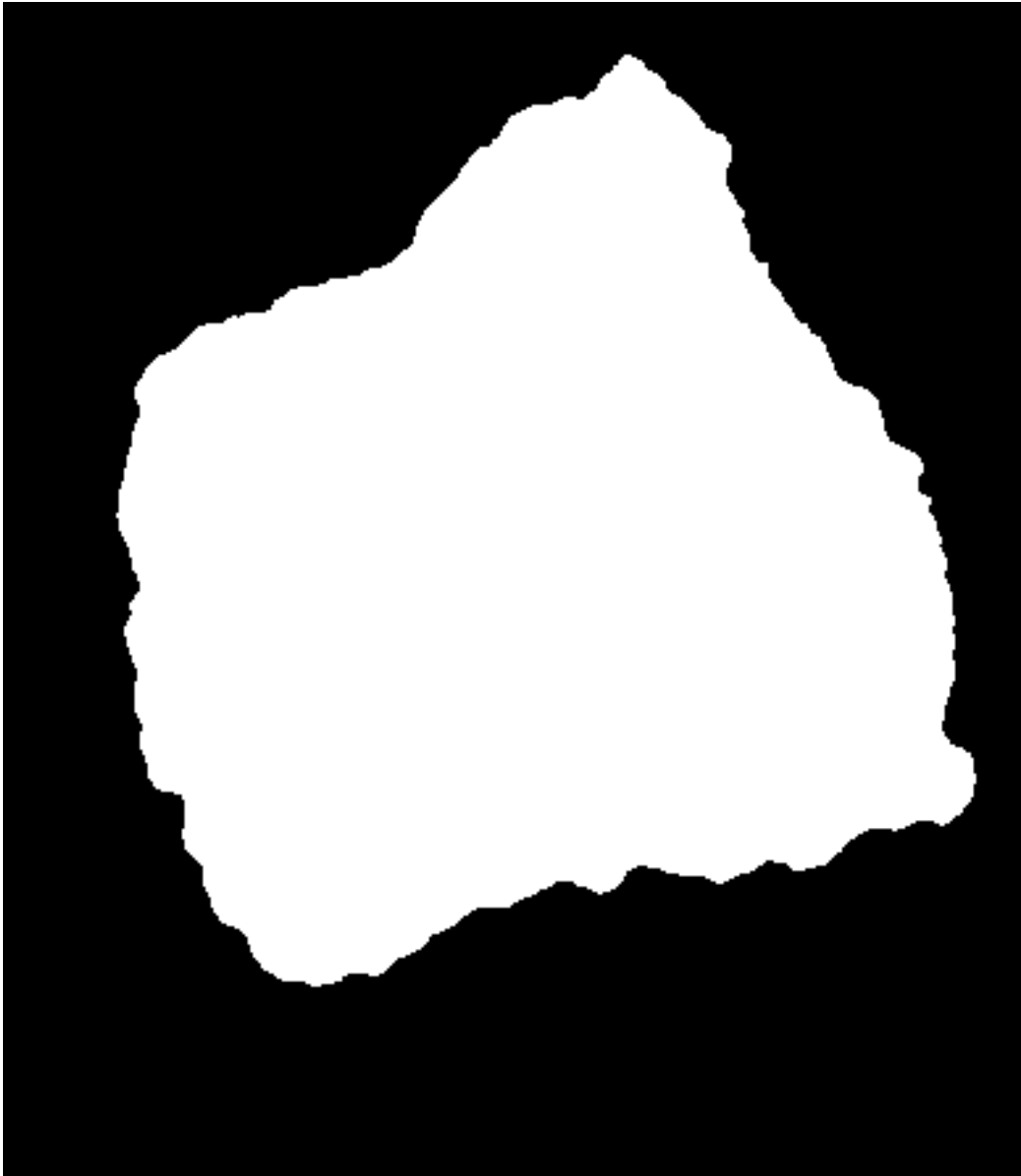




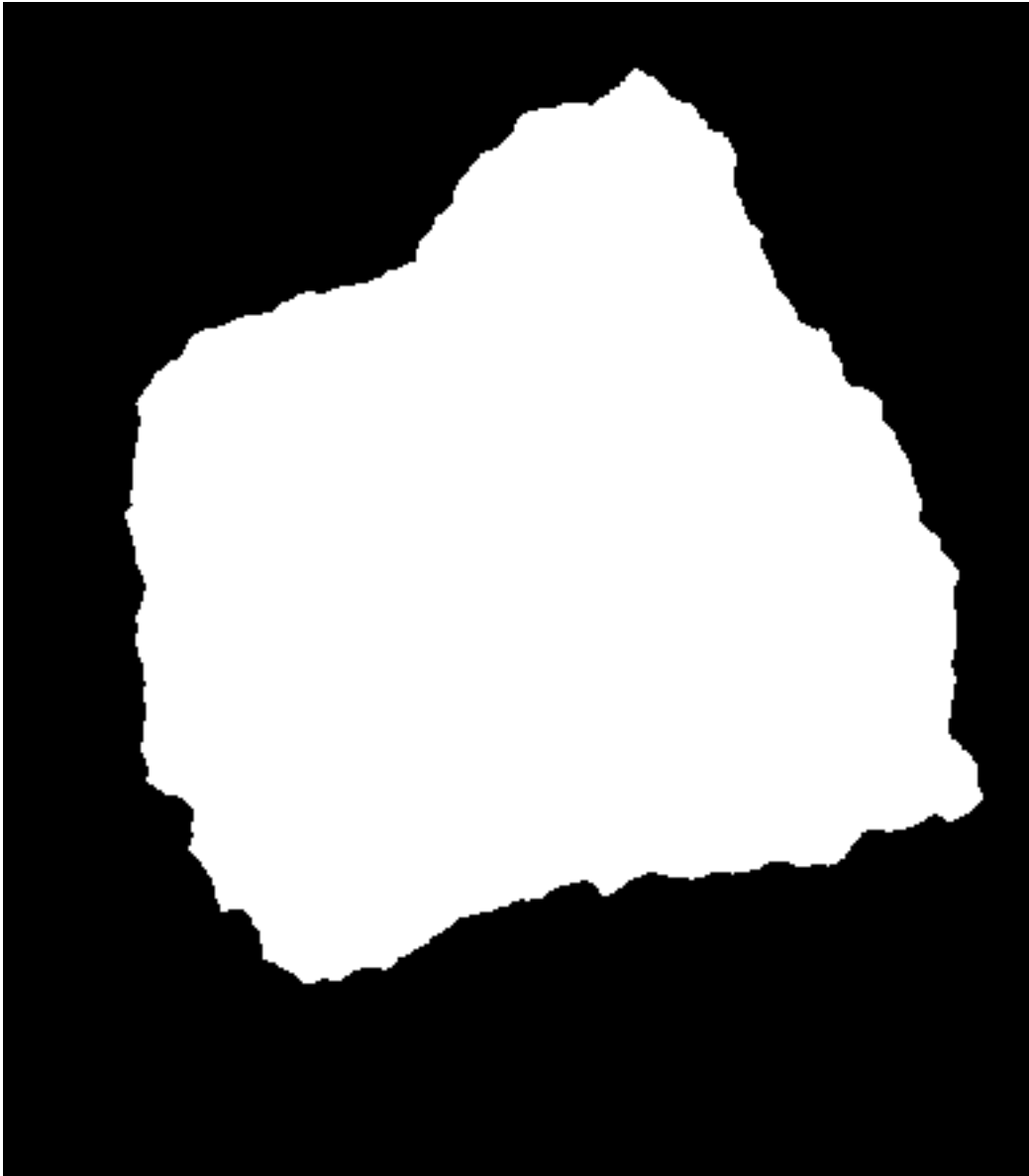
**Εικόνα 4.4.ιβ.: Περίγραμμα δωδέκατης τομής**



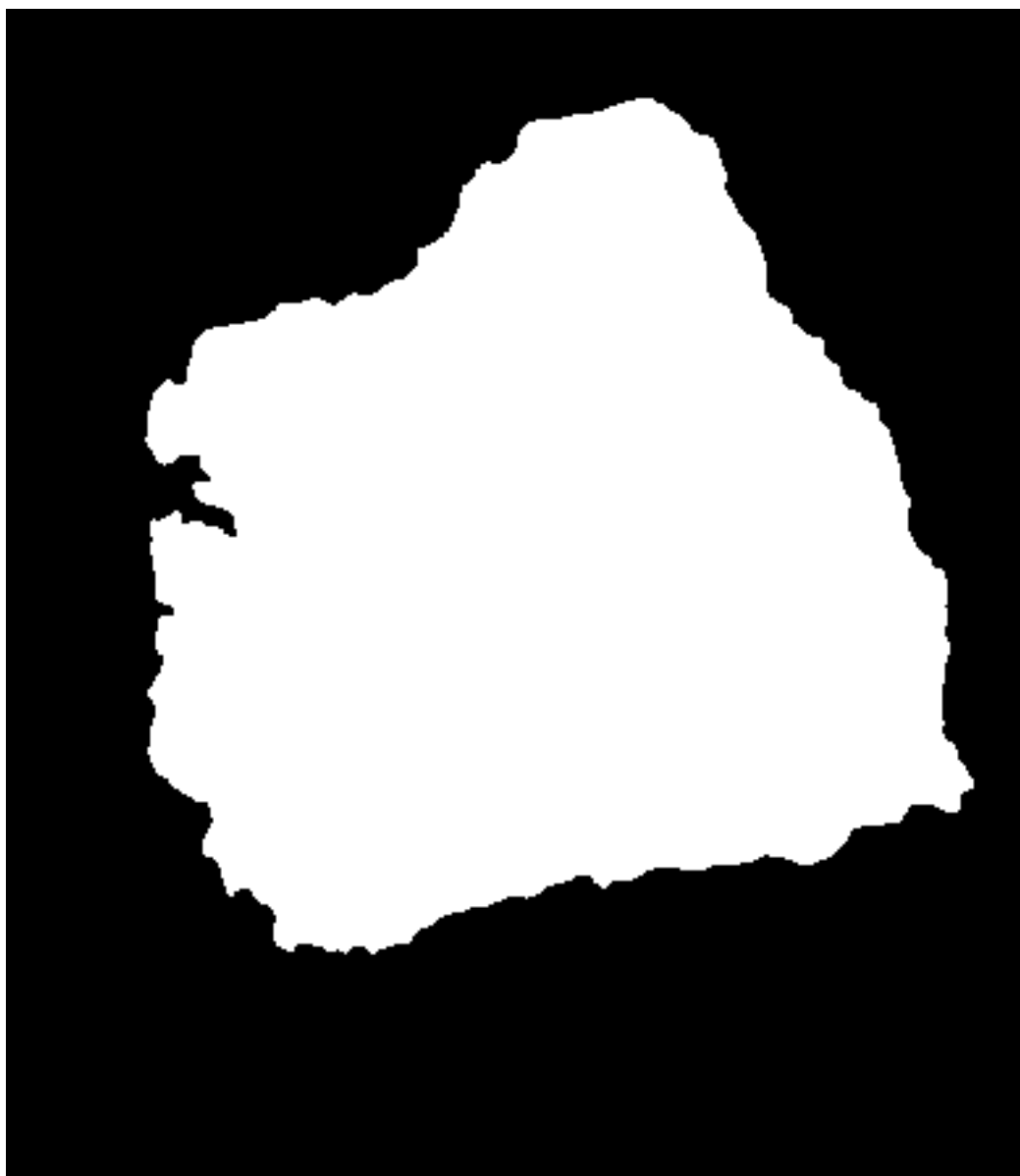
**Εικόνα 4.4.ιγ.: Περίγραμμα δέκατης τρίτης τομής**



**Εικόνα 4.4.ιδ.: Περίγραμμα δέκατης τέταρτης τομής**



**Εικόνα 4.4.ιε.: Περίγραμμα δέκατης πέμπτης τομής**



**Εικόνα 4.4.ιστ.: Περίγραμμα δέκατης έκτης τομής**

---

## **4. Συμπερίληψη της εικόνας του ζωγραφισμένου τμήματος του θραύσματος επί της τριδιάστατης απεικόνισης αυτού**

Προκειμένου να γίνει και η οπτική επιβεβαίωση της αντιστοίχισης των θραυσμάτων ως πιθανών συνενώσεων τους κατά τον έλεγχο ταιριάσματος, χρησιμοποιούμε τις φωτογραφίες τους, τις τομές του 3D-scanner και τον κώδικα της Matlab που περιγράφεται παρακάτω.

Τα αποτελέσματα του συστήματος μάς παρέχουν τις ακριβείς συντεταγμένες των σημείων, όπου η φωτογραφία ταιριάζει καλύτερα στην άνω επιφάνεια της 3D απεικόνισης του θραύσματος. Οι συντεταγμένες όμως αυτές, αναφέρονται στην ασπρόμαυρη τομή που λαμβάνουμε από το 3D-scanner. Όπως είναι προφανές, δεν είναι δυνατό να μεταφερθούν με μοναδικό τρόπο σε κάποια έγχρωμη φωτογραφία του θραύσματος, γιατί δεν είναι γνωστή ούτε η κλίση του θραύσματος όταν η γωνία αναφοράς είναι μηδενική, ούτε είναι γνωστό αν η κλίμακα της φωτογραφίας είναι η ίδια. Για τους παραπάνω λόγους λοιπόν και για να έχουμε μονοσήμαντη αντιστοίχιση, τοποθετούμε- με όσο γίνεται βέλτιστο τρόπο- την έγχρωμη φωτογραφία πάνω στην ασπρόμαυρη τομή ώστε οι συντεταγμένες να διατηρηθούν ίδιες. Με έναν κατάλληλο κώδικα στη Matlab, βρίσκουμε καταρχάς μια διαισθητική γωνία περιστροφής, εν συνεχεία ο κώδικας πραγματοποιεί αυτόματα περιστροφή, ομοιοθεσία και παράλληλη μετατόπιση μόνο της εικόνας της 2D φωτογραφίας, έως ότου αυτή βέλτιστα προσαρμοστεί στην άνω τομή, με μια έννοια ελαχίστων τετραγώνων. Σε ισοδύναμη διατύπωση οι προαναφερθείσες ενέργειες υπολογίζουν το σφάλμα της τοποθέτησης και στο σημείο με το ελάχιστο σφάλμα.

## Περιγραφή του κώδικα της Matlab

Ο κώδικας της C μας δίνει σαν output ένα αρχείο .txt, το οποίο περιέχει blocks η στοιχείων, το καθένα από τα οποία αποτελείται από όλα τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν μονοσήμαντα το πιθανό ταίριασμα ανάμεσα στα σημεία επαφής. Προκειμένου να γίνει εφικτή η οπτική αναπαράσταση, είναι απαραίτητο το “διάβασμα” αυτών των στοιχείων. Προχωρούμε λοιπόν, στην αποθήκευση αυτού του αρχείου σε έναν πίνακα και κατόπιν χρησιμοποιούμε τα παραπάνω στοιχεία ανά n-άδες για να δούμε όλες τις πιθανές ενώσεις που δίνει ο κώδικας. Για κάθε μία από αυτές τις n-άδες καλείται ένα κώδικας, ώστε να παρατηρήσουμε τελικά, τα δύο θραύσματα που ελέγχθηκαν τοποθετημένα σε μία εικόνα, με το δεύτερο θραύσμα περιστραμένο κατάλληλα και τα δύο μαζί ενωμένα στο σημείο που βρέθηκε το πιθανό ταίριασμα.

Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι οι έγχρωμες εικόνες των δύο θραυσμάτων βρίσκονται σε άσπρο (255,255,255) φόντο και είναι resized και rotated ώστε να ταιριάζουν ακριβώς στις τομές που έδωσε το 3D-scanner.

### Τα στάδια της διαδικασίας είναι τα παρακάτω:

- Διάβασμα της αναφοράς (θραύσμα αναφοράς)
- Μετατροπή πρώτης εικόνας σε double ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία της.
- Εύρεση και αποθήκευση σε δύο διανύσματα των συντεταγμένων των σημείων που περιέχουν πληροφορία (αυτών δηλαδή που δεν είναι άσπρο φόντο).
- Εύρεση της μέγιστης διάστασης της εικόνας.
- Διάβασμα τρέχουσας εικόνας (τρέχοντος θραύσματος)
- Μετατροπή δεύτερης εικόνας σε double ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία της.



- Εύρεση και αποθήκευση σε δύο διανύσματα των συντεταγμένων των σημείων που περιέχουν πληροφορία (αυτών δηλαδή που δεν είναι άσπρο φόντο).
- Εύρεση της μέγιστης διάστασης της εικόνας.
- Η εικόνα στην οποία θα εμφανιστούν οι δύο παραπάνω εικόνες, είναι ένας κοινός καμβάς, στο κέντρο του οποίου θα βρίσκεται η εικόνα αναφοράς και κάπου γύρω από αυτήν, ενωμένη στο κατάλληλο σημείο και κατάλληλα περιστραμμένη θα βρίσκεται η τρέχουσα εικόνα.
- Κατά συνέπεια, οι διαστάσεις του κοινού καμβά πρέπει να είναι:  
 $\text{max\_diastsi\_eikonas\_anaforas} + 2 * \text{round}(\sqrt{-\text{ρίζα}2 - \text{max\_diastasi\_trehousas\_eikonas}})$
- Αρχικοποίηση του κοινού καμβά σε άσπρο.
- Τοποθέτηση της εικόνας αναφοράς στο κέντρο του κοινού καμβά.
- Τα στοιχεία που υπάρχουν στο block των αποτελεσμάτων είναι σημεία με συνταταγμένες στο επεκτεταμένο πλαίσιο, οπότε αφαιρώντας τη μετατόπιση που είχαν υποστεί αρχικά, παίρνουμε τις συντεταγμένες του αρχικού σημείου ταιριάσματος.
- Ονομάζουμε την εξωτερική συνάρτηση `our_rotate_image`, η οποία παίρνει σα ορίσματα μια έγχρωμη εικόνα `imm_color` και μία γωνία σε μοίρες `gwnia` και περιστρέφει την `imm_color` κατά `gwnia`. Σε αυτήν την περίπτωση, δίνουμε σαν ορίσματα την τρέχουσα εικόνα και τη γωνία που παίρνουμε από το block των αποτελεσμάτων.
- Μετά την επιστροφή της συνάρτησης, βρίσκουμε εκ νέου το θεματικό περιεχόμενο της νέας, εστραμμένης πλέον εικόνας.
- Στροφή του σημείου επαφής του τρέχοντος θραύσματος όπως ακριβώς στρέψαμε και την εικόνα με την `our_rotate_image`.
- Δείχνουμε το σημείο επαφής του σταθερού θραύσματος στον κοινό καμβά, χρωματίζοντας το έντονα.

- Τοποθετούμε στον κοινό καμβά την εστραμμένη τρέχουσα έτσι ώστε τα δύο σημεία επαφής να συμπίπτουν.
- Εμφάνιση του κοινού καμβά.



---

## **5. Συμπεράσματα**

## Αποτελέσματα

Παρακάτω βλέπουμε τα ταιριάσματα που έδωσε το σύστημα για μια τριάδα κομματιών ανά δύο. Στην εικόνα 5.1 τα δύο θραύσματα ταιριάζουν. Για τα συγκεκριμένα θραύσματα το σύστημα έδειξε και ταίριασμα ανάμεσα στις ευθείες του.



**Εικόνα 5.1**

Όπως περιμέναμε το ταίριασμα μεταξύ των δύο κομματιών δεν είναι τέλειο, αφού το περίγραμμα των κομματιών έχει φθαρεί με το χρόνο αλλά και λόγω της αρχικής αιτίας θραύσης. Πρέπει επιπλέον να λάβουμε υπόψιν ότι και η φωτογραφία δεν έχει ταιριάξει τέλεια πάνω στην τομή, δεδομένου ότι είναι πολύ δύσκολο να τραβήξει κανείς μια φωτογραφία απόλυτα παράλληλη με την άνω επιάνεια του θραύσματος.

Παρόλα αυτά με την οπτικοποίηση είναι φανερό ότι το θεματικό περιεχόμενο των θραυσμάτων ταιριάζει και πως τα κομμάτια ενόνονταν με αυτό τον τρόπο.



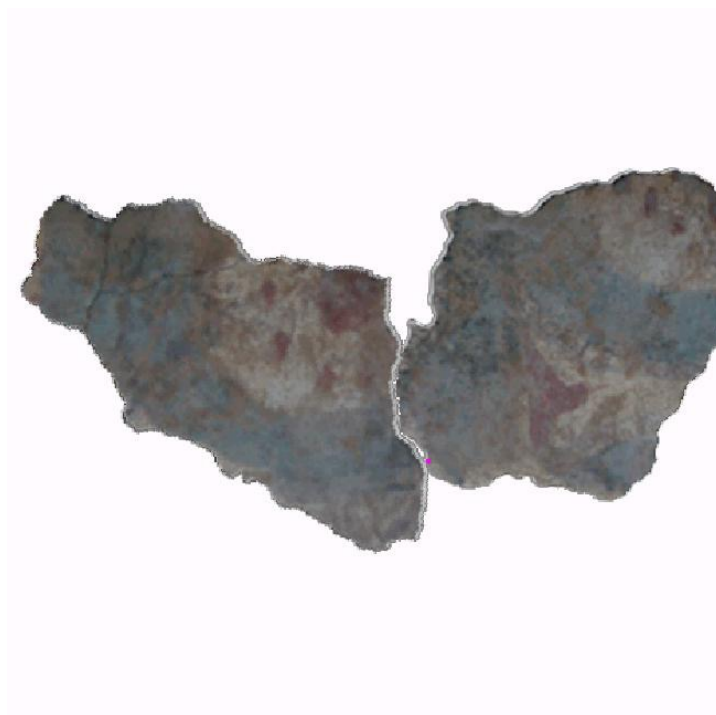
**Εικόνα 5.2**

Στην παραπάνω εικόνα (εικόνα 5.2) βλέπουμε πως το σύστημα θεώρησε ότι τα θραύσματα ενώνονται στις ευθείες. Αυτό είναι απολύτως λογικό, δεδομένου ότι όταν και οι δύο αλυσίδες σύγκρισης βρίσκονται στο ευθύ τμήμα των θραυσμάτων, ο όγκος ανάμεσα στα θραύσματα είναι πολύ μικρός, οι γεωμετρίες ταιριάζουν και τα μήκη είναι συγκρίσιμα. Επομένως η θέση που δίνει ταιριάζει αφού πληρεί όλα τα κριτήρια του συστημάτος μας. Παρόλα αυτά, το σύστημα έδωσε σαν πιθανό ταίριασμα και το σημείο στο οποίο τα θραύσματα όντως ταιριάζουν. Η θέση αυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. (Εικόνα 5.3)



**Εικόνα 5.3**

Για ένα άλλο ζεύγος κομματιών το σύστημα έδωσε την κόλληση που φαίνεται στην εικόνα 5.4. Το συγκεκριμένο ταίριασμα δεν είναι εύκολα εντοπίσιμο, διότι με το θεματικό περιεχόμενο που έχουν τα θραύσματα, περιμένουμε αυτόματα άλλο ταίριασμα.



**Εικόνα 5.4**

## **Συμπεράσματα**

Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής κατέδειξαν την ισχύ της νέας μεθόδου εικονικής ανακατασκευής θραυσμένων αντικειμένων. Με τη νέα αυτή μεθοδολογία επτεύχθη η ακρίβεια που απαιτούταν σε κάθε στάδιο της προεπεξεργασίας έτσι ώστε τ' αποτελέσματα να μην αφήνουν περιθώριο αμφιβολίας στο χρήστη για τον αριθμό των πιθανών ενώσεων που πρέπει να ελέγξει.

Επίσης, η αποτελεσματικότητα της μεθόδου φαίνεται δεν περιορίστηκε από τη φθορά των αρχαιολογικών θραυσμάτων, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν έντονη. Τέλος τα αποτελέσματα οδήγησαν στη δημιουργία νησίδων θραυσμάτων μετά από σχετική αξιολόγηση.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ανακατασκευή θραυσμάτων με βάση το σχήμα του περιγράμματος(τοιχογραφίες 1600 π.Χ.). [Papaodysseus, Panagopoulos, Exarhos, Triantafyllou, Fragoulis, Doumas 2002]
- [2] Μέθοδος πολλαπλής κλίμακας για την επανασυναρμολόγηση των δυσδιάστατων θραυσμάτων [Cristina, Leitao and Stolfi, 2002]
- [3] Παγκοσμίως συνεπής ανακατασκευή σκισμένων/κατεστραμμένων εγγράφων [Zhu, Zhou and Hu, 2008]
- [4] Ανακατασκευή κατακερματισμένων εγγράφων χρησιμοποιώντας χάρτες περιγράμματος [Biswas, Bhowmick and Bhattacharya, 2005]
- [5] Εικονική Αποκατάσταση των κατακερματισμένων Φωτογραφιών γυάλινης πλάκας [Stanco, Tenze, Ramponi and de Polo, 2004]
- [6] Ανακατασκευή τρισδιάστατων αντικειμένων μέσω της αντιστοίχισης των μελών που τα αποτελούν [Papaioannou , Karabassi, and Theoharis, 2001]
- [7] Ένα σύστημα για την ανάκτηση και αντιστοίχιση θραυσμάτων φρέσκο μεγάλου όγκου: επανασυναρμολογώντας θηραϊκές τοιχογραφίες[Brown κ.ά.. 2008]
- [8] Επανασυναρμολόγηση Σπασμένων αντικείμενων μέσω Γεωμετρικής αντιστοίχισης[Huang, Floery, Gelfand, Hofer και Pottman, 2006]
- [9] Αντιστοιχία ζευγών τρισδιάστατων θραυσμάτων χρησιμοποιώντας Δέντρα Cluster[Winkelbach και Wahl 2008]
- [10] Automated Reconstruction of Fragmented Objects Using Their 3D Representation - Application to Important Archaeological Finds [C. Papaodysseus, D. Arabadjis, M.

Panagopoulos, P. Rousopoulos, M. Exarhos and School of Electrical and Computer Engineering, National Technical University of Athens]

- [11] Αργυρώ Βαλτάρα: Μελέτη επί της Αυτόματης Ανακατασκευής Θραυσμένων Αντικειμένων Εφαρμογή σε Αρχαιολογικά Ευρήματα ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ επιβλέπων Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς, Αθήνα 2011.
- [12] Θεοκτίστη-Μαρίνα Σταλίμερου: Τρισδιάστατη αναπαράσταση αρχαιολογικών κονιαμάτων με σκοπό την αυτόματη συνένωσή τους ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ επιβλέπων Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς, Αθήνα 2011.
- [13] Παναγιώτης Ρουσσόπουλος: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ Διδακτορική Διατριβή , Επιβλέπων Καθηγητής : Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς , Αθήνα Οκτώβριος 2010
- [14] Αφροδίτη Πανταζή: Στατιστικές μέθοδοι αναγνώρισης προτύπων για ταυτοποίηση γεωμετρικών σχημάτων σε σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα, ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ, επιβλέπων καθηγητής Κων/νος Παπαοδυσσεύς, Αθήνα, Δεκέμβριος 2007.