



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Εφαρμογή μιας Νέας Μεθόδου Ανακατασκευής Θραυσμένων  
Αντικειμένων Με Χρήση της 3D Ψηφιακής Αναπαράστασης τους σε  
Σημαντικά Αρχαιολογικά Ευρήματα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γιώργος Θ. Κουλαρμάνης

**Επιβλέπων :** Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2016





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Εφαρμογή μιας Νέας Μεθόδου Ανακατασκευής Θραυσμένων  
Αντικειμένων με Χρήση της 3D Ψηφιακής Αναπαράστασης τους σε  
Σημαντικά Αρχαιολογικά Ευρήματα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γιώργος Θ. Κουλαρμάνης

**Επιβλέπων :** Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 21<sup>η</sup> Ιουλίου 2016.

.....  
Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

.....  
Ηλίας Κουκούτσης

.....  
Γιώργος Καμπουράκης

.....

Γιώργος Θ. Κουλαρμάνης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών ΕΜΠ

Copyright © Γιώργος Θ. Κουλαρμάνης, Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς, 2016

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 παρούσα εργασία πραγματοποιείται η εφαρμογή μιας νέας μεθοδολογίας ανακατασκευής τρισδιάστατων αντικειμένων χρησιμοποιώντας την 3D απεικόνισή τους. Για τις ανάγκες της εργασίας επιλέχτηκαν θραύσματα από την τοιχογραφία της Αρχαίας Τίρυνθας, τα οποία ελέγχτηκαν διεξοδικά αν ταιριάζουν σύμφωνα με την προαναφερθείσα μέθοδο.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε εκκινεί με την σάρωση των προς σύγκριση αντικειμένων από 3D Scanner. Επιπλέον τα κονιόματα που θα συγκριθούν υφίστανται κατάλληλη ψηφιακή επεξεργασία. Έπειτα, διαθέτοντας την τρισδιάστατη πληροφορία αυτών, θέτουμε τα θραύσματα ως είσοδο στο σύστημα, το οποίο ελέγχει την πιθανότητα ταιριάσματος. Το σύστημα δίνει ως αποδεκτά ζεύγη τα θραύσματα εκείνα τα οποία ικανοποιούν κάποια κατάλληλα επιλεγέντα κριτήρια. Τα προτεινόμενα ζεύγη οπτικοποιούνται στο περιβάλλον της Matlab και σε ανάλυση που ακολουθεί, γίνεται κατανοητή η επιλογή των τελικών ταιριασμάτων που θα δοθούν στους αρχαιολόγους.

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν επιβεβαιώνουν την επιτυχή λειτουργία της μεθόδου στην επανένωση οποιουδήποτε τρισδιάστατου αντικειμένου με μια πλευρά σχεδόν επίπεδη. Τα αποδεκτά ταιριάσματα των κονιαμάτων ευελπιστούμε να συμβάλουν στην σταδιακή αποκατάσταση τμήματος της τοιχογραφίας της Αρχαίας Τίρυνθας.

**Λέξεις-κλειδιά :** αυτόματη ανακατασκευή θραυσμένων αντικειμένων, 3D Scanner, Αρχαία Τίρυνθα, κονιόματα, θραύσματα τοιχογραφίας

## **Abstract**

The goal of this thesis is to propose of an innovative methodology for the reconstruction of three-dimensional objects using their 3D images. For that reason, were selected fragments of the fresco of Ancient Tiryns which were thoroughly checked following the innovative framework proposed on this thesis.

The 1st part of the work is started by scanning the fragments with a 3D Scanner. In addition, the parts of the analysis to be further compared are imposed to additional digital process. Then, we set the three dimensional images as input to the system, which controls the probability of matching the different images. The system gives as accepted pairs, those fragments that satisfy suitably selected criteria, as defined at the beginning of the algorithmic process. As a last step of the process, the accepted pairs are further visualized in Matlab environment, towards understanding the approach followed for the extraction of mismatches that will further available to the archaeologists.

The results from the proposed framework confirm the accuracy of the method for the reunification of three-dimensional objects with at least a flat surface. In addition, the accepted pairs extracted from this thesis will further contribute to the gradual restoration of Ancient Tiryns mural part.

**Keywords:** automated reconstruction of broken parts, 3D Scanner, Ancient Tiryns, fresco fragments



## Περιεχόμενα

<b>1.Εισαγωγή.....</b>	<b>9</b>
1.1 Η χρησιμότητα της αυτόματης ανακατασκευής θραυσμένων αντικειμένων.....	9
1.2 Οι δυσκολίες κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας για την αυτόματη ανακατασκευή θραυσμάτων.....	9
1.3 Στόχος της εργασίας.....	10
1.4 Ιστορικά Στοιχεία.....	10
1.4.1 Γενικά.....	10
1.4.2 Ιστορικό.....	11
1.4.3 Μνημεία του χώρου.....	11
1.4.4 Μυκηναϊκή τοιχογραφία.....	12
1.4.5 Ανακατασκευή τοιχογραφίας και σχετικά προβλήματα.....	14
<b>2.3D Scanner και τρισδιάστατη απεικόνιση.....</b>	<b>16</b>
2.1 Γενικά περί τρισδιάστατης απεικόνισης.....	16
2.2 3D Scanner με ακτίνα laser.....	16
2.3 Παράδειγμα τομών ενός κονιάματος.....	18
<b>3.Αρχική επεξεργασία κονιαμάτων.....</b>	<b>31</b>
3.1 Περιστροφή αντικείμενου με γωνίες Euler.....	31
3.2 Ορισμοί και εξισώσεις επιφανειών κονιάματος.....	32
3.2.1 Καθορισμός επιφανειών.....	33
3.2.2 Κεντρικός άξονας.....	33
3.2.3 Γωνίες περιστροφής.....	34
<b>4.Μεθοδολογία και κριτήρια σύγκρισης.....</b>	<b>35</b>
4.1 Εισαγωγή.....	35

4.2 Μια πρώτη προσέγγιση : Οπτική παρατήρηση και ομαδοποίηση.....	35
4.3 Ορισμοί και βασικές έννοιες.....	37
4.4 Ανάπτυξη κριτηρίων.....	40
4.4.1 Πρώτο κριτήριο.....	40
4.4.2 Δεύτερο και τρίτο κριτήριο.....	40
4.4.3 Τέταρτο κριτήριο.....	41
4.4.4 Πέμπτο κριτήριο.....	41
<b>5. Ανάπτυξη συστήματος.....</b>	<b>43</b>
5.1 Περιγραφή του συστήματος.....	43
5.2 Λειτουργία του συστήματος.....	44
5.3 Έξοδος του συστήματος.....	45
<b>6. Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων.....</b>	<b>47</b>
6.1 Εισαγωγή.....	47
6.2 Λήψη overlays κονιαμάτων.....	47
6.3 Απεικόνιση ταιριασμένων κονιαμάτων.....	52
<b>Βιβλιογραφία</b>	

## **1.Εισαγωγή**

### **1.1 Η χρησιμότητα της αυτόματης ανακατασκευής θραυσμένων αντικειμένων**

Η ανάπτυξη στις τελευταίες δεκαετίες νέων μεθόδων έρευνας και επεξεργασίας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του πλήθους των ευρημάτων στον κλάδο της Αρχαιολογίας. Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες των παραπάνω αντικειμένων είναι τμήματα γλυπτών, σπαράγματα κειμένων σε πάπυρο, θραύσματα αγγείων, κονιάματα από τοιχογραφίες καθώς και κατασκευές από μάρμαρα ή πλίνθο.<sup>(1)</sup>

Σπάνιες είναι οι περιπτώσεις που τα ευρήματα ανακαλύπτονται στην αρχική τους άρτια μορφή χωρίς να έχουν υποστεί φθορές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις, η προσπάθεια για επανένωση των αντικειμένων να είναι μια μακροχρόνια και επίπονη διαδικασία χωρίς πάντα τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα.

Μεγάλο ενδιαφέρον συγκεντρώνει η αναζήτηση τεχνικών ώστε να επιτευχθεί η επανασυναρμολόγηση των ευρημάτων από τα διαθέσιμα τμήματά τους. Πέρα από το προφανές ερευνητικό ενδιαφέρον για την υπολογιστική αντιμετώπιση του θέματος, η αποκατάσταση των θραυσμάτων με αυτόματο τρόπο, μειώνει αποφασιστικά τον απαιτούμενο χρόνο. Επιπλέον, αποφεύγονται οι επιπλέον φθορές που προκαλούνται από την ανθρώπινη επέμβασή μας, για ταίριασμα με το χέρι, καθώς οι απαιτούμενες ενέργειες πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας την ψηφιακή αναπαράσταση των θραυσμάτων με μη επεμβατικό τρόπο.

### **1.2 Οι δυσκολίες κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας για την αυτόματη ανακατασκευή θραυσμάτων**

Στην παρούσα εργασία, η ανακατασκευή αφορά θραύσματα τοιχογραφιών, τα οποία θέλουμε να συγκρίνουμε μεταξύ τους προκειμένου να εντοπίσουμε ταιριάσματα. Οι δυσκολίες που παρουσιάζονται στην κατασκευή της μεθόδου έχουν να κάνουν κυρίως με την λειτουργικότητα του συστήματος. Ιδανικά, επιθυμούμε το σύστημα να μας δίνει ως έξοδο κατευθείαν το ζεύγος θραυσμάτων μαζί με τη θέση στην οποία εντόπισε το ταίριασμα. Στις περιπτώσεις που δεν συμβαίνει αυτό θα πρέπει να μας επιστρέφει τον ελάχιστο δυνατό αριθμό πιθανών ενώσεων. Κρίνεται έτσι απαραίτητος ο αυστηρός καθορισμός των τιμών-ορίων για τα κριτήρια της μεθόδου.

Επίσης, απαιτούνται κάποιες επιπλέον επεξεργασίες πριν την διαδικασία της σύγκρισης, όπως η συλλογή της τρισδιάστατης πληροφορίας των θραυσμάτων, ο καθορισμός του κονιάματος και ο εντοπισμός της ζωγραφισμένης περιοχής.

### **1.3 Στόχος της εργασίας**

Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στην μεθοδολογία που δημοσιεύθηκε από τους ερευνητές κύριους Κ.Παπαοδυσσέα , Δ.Αραμπατζή, Μ.Παναγόπουλο, Π.Ρουσόπουλο,Μ.Έξαρχο με τίτλο << Automated Reconstruction of Fragmented Objects Using Their 3D Representation - Application to Important Archeological Finds >><sup>(2)</sup>.Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στην επανασυγκόληση θραυσμάτων τυχαίου αντικειμένου καθώς και σε πλήθος ευρημάτων από την τοιχογραφία των Μυκηνών και της Τίρυνθας.

Ο κύριος στόχος της εργασίας είναι η χρησιμοποίηση της παραπάνω μεθοδολογίας στα πλαίσια της αποκατάστασης μεγαλύτερου τμήματος της τοιχογραφίας, η οποία αποτελεί μέρος της πολιτιστικής κληρονομιάς του τόπου.. Τα πενήντα θραύσματα που χρησιμοποιήθηκαν για αυτόν τον σκοπό βρίσκονται στη Προϊστορική Συλλογή του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου της Αθήνας. Αποτελούν ευρήματα από τις ανασκαφές που διεξήγαγε ο Σλήμαν την περίοδο 1885-1886 και το Γερμανικό Ινστιτούτο το 1909-1910.

Ένας δεύτερος στόχος είναι να περιγραφεί πιο αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθείται για την σύγκριση των κονιαμάτων και να παρουσιαστεί ο τρόπος αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του συστήματος.

### **1.4 Ιστορικά στοιχεία**

#### **1.4.1 Γενικά**

Η Τίρυνθα είναι πόλη της Αργολίδας στην Πελοπόννησο. Αρχαιολογικές ανασκαφές στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 1884-1885 από τον Ερρίκο Σλήμαν που έφερε στο φως την Αρχαία Τίρυνθα και τα ξακουστά «κυκλώπεια» τείχη της, τα οποία όπως αναφέρει και ο Όμηρος τα έχτισαν οι ίδιοι οι Κύκλωπες. Ο πρώτος μυθικός

βασιλιάς της πόλης ήταν ο Προίτος, αδερφός του Αρκίσσιου, βασιλιά του Άργους. Στη μυθολογία, ο βασιλιάς της Τίρυνθας, Ευρυσθέας, διέταξε τους άθλους του Ηρακλή. Η Τίρυνθα καταστράφηκε ολοσχερώς από τους Αργείους τον 5ο αιώνα π.Χ και ο πληθυσμός της εξορίστηκε.<sup>(3)</sup>

#### 1.4.2 Ιστορικό

Ο χαμηλός λόφος της Τίρυνθας κατοικήθηκε αδιάλειπτα από τη Νεολιθική εποχή μέχρι την ύστερη αρχαιότητα. Κατά τους προϊστορικούς χρόνους ο χώρος ήκμασε κυρίως κατά την πρώιμη και ύστερη εποχή του Χαλκού. Στη δεύτερη φάση της Πρωτοελλαδικής εποχής (2700-2200 π.Χ.) πρέπει να υπήρχε εδώ ένα σημαντικό κέντρο με πυκνή κατοίκηση και ένα μοναδικής κατασκευής κυκλικό κτήριο στην κορυφή του λόφου.<sup>(4)</sup>

Κατά την ύστερη εποχή του Χαλκού ο λόφος οχυρώνεται σταδιακά και περιβάλλει μέσα στα «κυκλώπεια» τείχη του το ανακτορικό συγκρότημα καθώς και κτήρια που χρησιμοποιούνται κυρίως από την άρχουσα τάξη ως λατρευτικοί χώροι, αποθήκες και εργαστήρια αλλά και ως κατοικίες.<sup>(4)</sup>

Ο περιηγητής Πausανίας που την επισκέφθηκε το 2ο αιώνα π.Χ. τη βρήκε ερειπωμένη. Κατά τη βυζαντινή εποχή ιδρύεται στην Άνω Ακρόπολη ένας κοιμητηριακός ναός και πιθανά ένας μικρής τάξεως οικισμός στα δυτικά της Ακρόπολης. Το τέλος του ασήμαντου πια οικισμού πρέπει να συνδεθεί με την κατάκτηση του Άργους από τους Τούρκους το 1379 μ. Στις βενετσιάνικες πηγές η Τίρυνθα αναφέρεται ως *Naroli vecchio* ,ενώ το όνομα Τίρυνθα δίνεται ξανά στην περιοχή στη σύγχρονη εποχή αντικαθιστώντας το σύνηθες όνομα «Παλαιόκαστρο».<sup>(4)</sup>

Οι αρχαιολογικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν από το 1876 μέχρι σήμερα, έφεραν στο φώς μια από τις σημαντικότερες μυκηναϊκές ακροπόλεις και ιχνηλάτησαν τα στάδια του πολιτισμού των προϊστορικών και ιστορικών περιόδων της Αργολίδας.<sup>(4)</sup>

#### 1.4.3 Μνημεία του χώρου

- Δυτικός Προμαχώνας : Ο Δυτικός Προμαχώνας αποτελεί ένα εξαιρετικό επίτευγμα της μυκηναϊκής αρχιτεκτονικής που έχει σαφέστατα αμυντικό χαρακτήρα.<sup>(4)</sup>

- Οχύρωση Τίρυνθας : Τα τείχη που οριοθετούν την ακρόπολη της Τίρυνθας κατασκευάστηκαν σε τρεις κύριες οικοδομικές φάσεις και οχύρωσαν σταδιακά ολόκληρο το λόφο από το νότιο-υψηλότερο προς το βόρειο-χαμηλότερο έξαρμά του. Το μέγεθος των ογκόλιθων που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για τα τείχη της τρίτης φάσης προκάλεσε την απορία και τον θαυμασμό ήδη στην αρχαιότητα, γεγονός που αντικατοπτρίζεται άμεσα στον μύθο των κυκλώπων.<sup>(4)</sup>
- Κάτω Ακρόπολη : Το βόρειο και χαμηλότερο έξαρμα του λόφου της Τίρυνθας είναι η Κάτω Ακρόπολη.<sup>(4)</sup>
- Γεωμετρικός Ναός : Ανατολικά της θύρας βρίσκεται ένας λάκος -αποθέτης, ο λεγόμενος βόθρος στον οποίο βρέθηκαν κεραμικά και μεταλλικά θραυσμένα αντικείμενα. Η ποιότητα των ευρημάτων συνηγορεί στον χαρακτηρισμό τους ως αφιερώματα. Τα ευρήματα αυτά συνδέθηκαν με την μετασκευή του βωμού στο χώρο της μεγάλης αυλής και το επίμηκες κτήριο που καλύπτει το ανατολικό τμήμα του μεγάλου μεγάρου της μυκηναϊκής εποχής. Έτσι, θεωρήθηκε ότι το κτήριο αυτό είναι ένας ναός των γεωμετρικών χρόνων, που ιδρύθηκε στο χώρο του μυκηναϊκού Μεγάρου και στον οποίο λατρευόταν η θεά Ήρα.<sup>(4)</sup>

#### 1.4.4 Η Μυκηναϊκή τοιχογραφία

Όταν μιλούμε για μυκηναϊκή τοιχογραφία εννοούμε την συγκεκριμένη τέχνη όπως αυτή παρουσιάζεται από την Υστεροελλαδική ως το τέλος της Μυκηναϊκής εποχής στα μέχρι τώρα γνωστά ευρήματα των σημαντικότερων μυκηναϊκών κέντρων όπως είναι οι Μυκήνες, η Τίρυνθα, ο Ορχομενός. Στα παραπάνω κέντρα διαμορφώνεται για την τοιχογραφία και ζωγραφική γενικότερα ένα λίγο-πολύ σταθερό θεματολόγιο. Αυτό περιλαμβάνει τρεις βασικές κατηγορίες θεμάτων : παραστάσεις από τη θρησκευτική ζωή -απεικονίσεις θεοτήτων, λατρευτικές σκηνές-παραστάσεις από την καθημερινή ζωή-μάχη, κυνήγι, θεάματα-και διακοσμητικά θέματα. Στις Μυκήνες έχουν αποκαλυφθεί πλήθος τοιχογραφιών, αρχής γενομένης από τον Σλήμαν το 1876 και σταθερά στις ανασκαφές των επόμενων χρόνων στην ίδια ευρύτερη περιοχή μέχρι σήμερα.<sup>(5)</sup>

Μια από τις πιο χαρακτηριστικές τοιχογραφίες που βρέθηκαν είναι η περίφημη «Μυκηναία» και η οποία απεικονίζεται στη ακόλουθη φωτογραφία.



**Εικόνα 1** : Η «Μυκηναία»<sup>(5)</sup>

Με βάση το δεδομένο θραυσμάτων που βρέθηκαν στον ίδιο χώρο, η μορφή που απεικονίζεται στην «Μυκηναία» πρέπει να είναι καθισμένη και αναφέρεται πιθανότατα σε κάποια θεότητα. Η πολυτέλεια του ρουχισμού και η σοβαρότητα του προσώπου συγκλίνουν προς αυτή την άποψη. Προς την Μυκηναία-θεότητα λοιπόν πρέπει να φανταστούμε ότι κατευθύνονταν πομπή από ένα αριθμό γυναικών. Η θεότητα έχει μόλις

δέχτει τα κοσμήματα που της προσφέρθηκαν ίσως μέσα σε πυξίδα ή άλλο σκεύος 'η ακόμα χέρι με χέρι. Η τελευταία περίπτωση θεωρείται από πολλούς ως η επικρατέστερη όπως έχει εκτιμηθεί ότι συμβαίνει και με σκηνή τοιχογραφίας από το Ακρωτήρι όπου γυναίκα μορφή προσφέρει περιδέραιο από χάντρες ορείας κρυστάλλου. Η «Μυκηναία» είναι ζωγραφισμένη με την μέθοδο της νωπογραφίας γνωστή και ως καθαρό φρέσκο (buon fresco).<sup>(5)</sup>

#### **1.4.5 Ανακατασκευή τοιχογραφίας και σχετικά προβλήματα**

Η «Μυκηναία» αποτελεί μια από τις σπάνιες περιπτώσεις στις οποίες βρέθηκε σχεδόν άθικτο κάποιο μεγάλο τμήμα της τοιχογραφίας και στο οποίο μπορούμε να διακρίνουμε καθαρά κάποια μορφή ή παράσταση. Αντιθέτως, έχουμε στη διάθεση μας εκατοντάδες ή και χιλιάδες κομμάτια τα οποία έχουν υποστεί σημαντικές φθορές και καταπονήσεις. Απαιτείται λοιπόν η συναρμολόγηση τους ώστε να προκύψει και πάλι η αρχική τοιχογραφία.

Λόγω του πλήθους των κομματιών, είναι εύλογο να αναμένουμε ότι η διαδικασία της συναρμολόγησης τους θα αποτελέσει μια χρονοβόρα διαδικασία. Επιπλέον τα κομμάτια παραμένουν εύθραυστα δυσκολεύοντας έτσι την προσπάθεια τοποθέτησής τους για σύγκριση ή ακόμα και τη συγκόλληση τους. Πέραν αυτού η έλλειψη κάποιου προτύπου ή μιας γενικής ιδέας για την συνολική παράσταση της τοιχογραφίας περιπλέκει ακόμη περισσότερο τα πράγματα. Έτσι δεν διαθέτουμε τα κατάλληλα κριτήρια για να αποφασίσουμε για το ταίριασμα δυο ευρημάτων κοιτάζοντας τις χρωματισμένες επιφάνειες τους.

Δεν είναι λίγες οι φορές μάλιστα που μπορεί να φτάσουμε σε τελείως λανθασμένη συναρμολόγηση. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το «γαλάζιο αγόρι» (βλ. την ακόλουθη εικόνα). Η εικονιζόμενη μορφή είναι στην πραγματικότητα μια μαϊμού. Μέρος της ουράς, ενώ είχε αναγνωρισθεί στην πρώτη αποκατάσταση σαν μέρος της σύνθεσης, είχε εκληφθεί αρχικά σαν μέρος της μορφής, κάτι που στην συνέχεια οδήγησε στη λάθος υπόθεση για το μέρος της σύνθεσης που έλειπε. Τον πρώτο καιρό που είχε γίνει η αποκατάσταση δεν ήταν γνωστά άλλα ευρήματα τοιχογραφιών που απεικονίζουν γαλάζια μαϊμού στην μινωική τέχνη, κάτι που οδήγησε στο προηγούμενο σφάλμα. Άρα είναι αναγκαία η επανεξέταση σε κάθε βήμα των προηγούμενων συνδυασμών που επιλέξαμε. Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η επανασυναρμολόγηση αναδεικνύεται σε μια κάθε άλλο παρά μηχανιστική διαδικασία άλλα απαιτητική, πολύπλοκη και πολυδιάστατη.<sup>(5)</sup>





**Εικόνα 2 :** Το «γαλάζιο αγόρι». Χαρακτηριστικό παράδειγμα λάθους στην αποκατάσταση.<sup>(5)</sup>

## **2. 3D Scanner και Τρισδιάστατη Απεικόνιση**

### **2.1 Γενικά περί τρισδιάστατης απεικόνισης**

Η τρισδιάστατη απεικόνιση συνίσταται στην λήψη της ψηφιακής αναπαράστασης ενός φυσικού αντικειμένου και τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου του στον υπολογιστή το οποίο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στην συνέχεια για οποιαδήποτε εφαρμογή επιθυμούμε. Για την δημιουργία του μοντέλου απαιτείται πρώτα να ληφθούν τα 3D δεδομένα του αντικειμένου από μια συσκευή που ονομάζεται τρισδιάστατος σαρωτής (3D Scanner). Ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η συλλογή των δεδομένων, οι σαρωτές που χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

Στην πρώτη κατηγορία εκπέμπεται ακτινοβολία στην επιφάνεια του αντικειμένου ενώ ένας αισθητήρας τοποθετημένος στη συσκευή του σαρωτή λαμβάνει την ανακλώμενη ακτινοβολία. Επειδή δεν υπάρχει επαφή με το αντικείμενο, αυτού του τύπου οι σαρωτές ονομάζονται μη-επαφής.

Στην δεύτερη κατηγορία ο σαρωτής περιλαμβάνει καθετήρα τον οποίο τοποθετούμε διαδοχικά σε διάφορες θέσεις της επιφάνειας του αντικειμένου. Γίνεται λοιπόν δειγματοληψία σημείο προς σημείο τρισδιάστατων δεδομένων και όχι σάρωση τμημάτων από ακτίνα laser. Αν και θεωρείται πιο ακριβής μέθοδος για την αναπαράσταση της γεωμετρίας του αντικειμένου, το γεγονός ότι υπάρχει επαφή οδηγεί πολλές φορές στην αλλοίωση των χαρακτηριστικών του. Συνεπώς ο σαρωτής επαφής δεν ενδείκνυται στις περιπτώσεις που το αντικείμενο είναι εύθραυστο ή έχει μεγάλη αρχαιολογική αξία όπως στην περίπτωση μας.

### **2.2 Τρισδιάστατα Scanner με ακτίνα laser**

- Χρόνος πτήσης (Time-of-flight)

Αυτού του είδους οι σαρωτές εκπέμπουν έναν παλμό ακτίνας laser στην επιφάνεια του αντικειμένου, ο οποίος ανακλάται πίσω στη συσκευή. Στην συνέχεια μετράται το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε ο παλμός μέχρι να επιστρέψει στην συσκευή του σαρωτή. Ο χρόνος που απαιτείται ώστε το φως να επιστρέψει ισούται με διπλάσιο της απόστασης

μεταξύ σαρωτή και της επιφάνειας του αντικειμένου. Θεωρούμε γνωστή την ταχύτητα του φωτός. Πιο συγκεκριμένα, αν  $t$  είναι ο χρόνος μεταξύ εκπομπής και επιστροφής, τότε η απόσταση είναι ίση με  $(c \cdot t) / 2$ . Η ακρίβεια αυτού του είδους των σαρωτών εξαρτάται από την ακρίβεια με την οποία μπορούμε να μετρήσουμε το χρόνο.

Επειδή η ακτίνα laser μπορεί να προσδιορίσει μόνο ένα σημείο τη φορά, για τον προσδιορισμό ολόκληρου του αντικειμένου απαιτείται η περιστροφή του σαρωτή ή η χρησιμοποίηση περιστρεφόμενων καθρεπτών.<sup>(6)</sup>

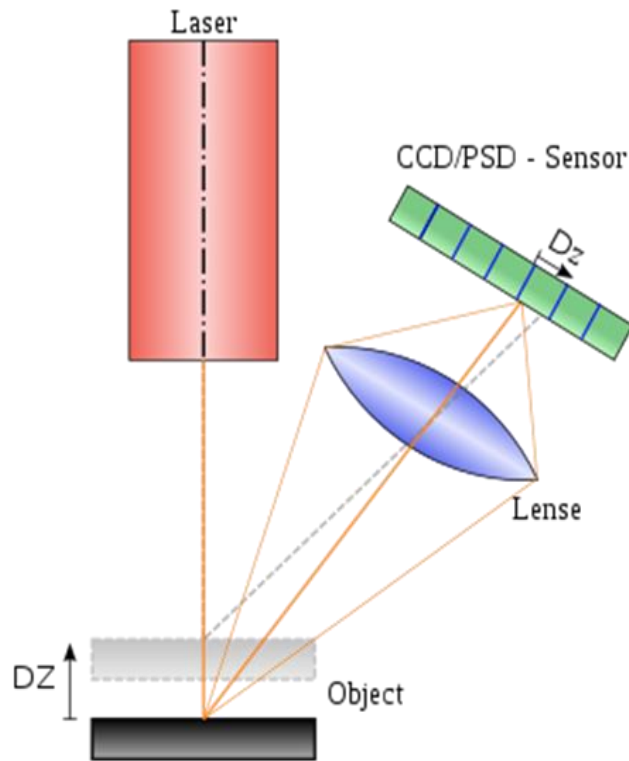
- Τριγωνισμός (Triangulation)

Οι σαρωτές που λειτουργούν με αυτήν την τεχνολογία είναι ενεργοί σαρωτές, οι οποίοι χρησιμοποιούν ακτίνες laser για την σάρωση του αντικειμένου. Η εκπεμπόμενη μορφή ακτινοβολίας είναι συνήθως φώς, ακτίνες χ ή υπέρηχοι. Εδώ οι σαρωτές περιλαμβάνουν κάμερα μέσω της οποίας βλέπουν πάνω σε ποία επιφάνεια προσπίπτει η «κουκίδα» της ακτίνας laser. Η κάμερα παρακολουθεί την πορεία της κουκίδας και έτσι προσδιορίζει το αντικείμενο. Οι σαρωτές αυτοί καλούνται «τριγωνισμού» γιατί η κάμερα, η πηγή laser και η κουκίδα σχηματίζουν ένα τρίγωνο.

Το μήκος της μίας πλευράς του τριγώνου και η απόσταση μεταξύ κάμερας και πηγής laser θεωρούνται γνωστά. Η γωνία της πηγής laser είναι και αυτή γνωστή. Η γωνία του τριγώνου που ορίζεται από την κάμερα επίσης μπορεί να υπολογιστεί κοιτάζοντας στην περιοχή που βρίσκεται η κουκίδα του laser στο πεδίο ορατότητας της κάμερας.

Αυτές οι πληροφορίες καθορίζουν πλήρως το σχήμα και το μέγεθος του τριγώνου και δίνουν την περιοχή της κουκίδας του laser που ορίζει την μια από τις τρεις κορυφές του τριγώνου.<sup>(6)</sup>

Ακολουθεί ένα ενδεικτικό σχήμα όλων των παραπάνω.



**Εικόνα 2.1** : Αρχή λειτουργίας σαρωτή τριγωνισμού. Διακρίνονται δυο θέσεις για το αντικείμενο.<sup>(7)</sup>

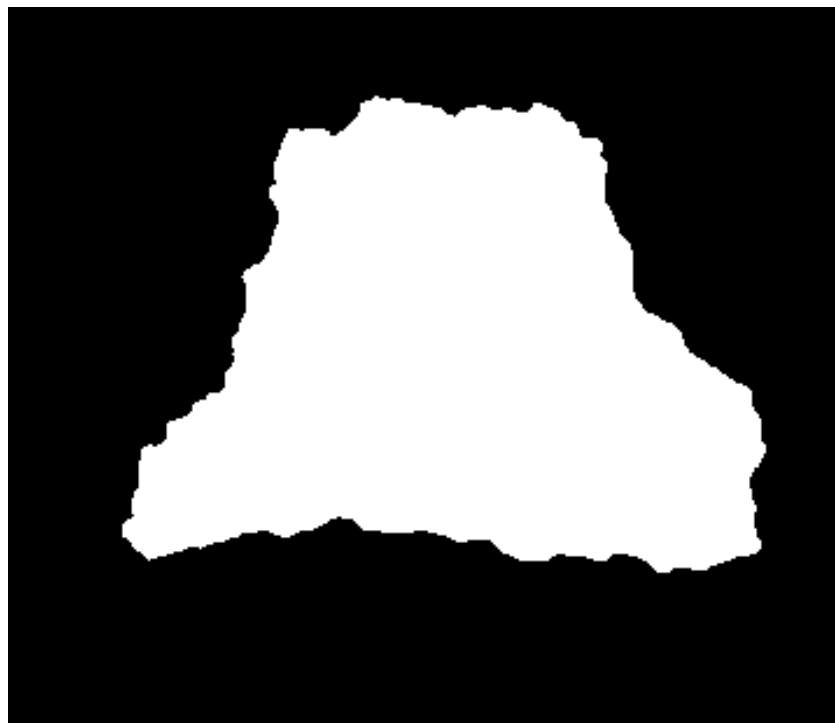
### 2.3 Παράδειγμα τομών ενός κονιάματος

Στα πλαίσια της εργασία μας θα χρησιμοποιήσουμε το 3D Scanner προκειμένου να παράξουμε ένα σύνολο από τομές για κάθε κονίαμα.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα από τα διαθέσιμα θραύσματα (το ονομάζουμε N3) και ακολουθούν οι τομές του, ξεκινώντας από αυτήν της άνω επιφάνειας του και προχωρώντας προς τα κάτω. Στο συγκεκριμένο θραύσμα αντιστοιχούν εικοσι τρεις τομές.



**Εικόνα 2.2** : Το θραύσμα N3 φωτογραφημένο κοιτάζοντας την άνω επιφάνεια του.



**Εικόνα 2.3** : Πρώτη τομή του N3.



**Εικόνα 2.4** : Δεύτερη τομή του N3.



**Εικόνα 2.5** : Τρίτη τομή του N3.



**Εικόνα 2.6** : Τέταρτη τομή του N3.



**Εικόνα 2.7** : Πέμπτη τομή του N3.



**Εικόνα 2.8 :** Έκτη τομή του N3.



**Εικόνα 2.9 :** Έβδομη τομή του N3.





**Εικόνα 2.10** : Όγδοη τομή του Ν3.



**Εικόνα 2.11** : Ένατη τομή του Ν3.



**Εικόνα 2.12** : Δέκατη τομή του N3.



**Εικόνα 2.13** : Ενδέκατη τομή του N3.



**Εικόνα 2.14** : Δωδέκατη τομή του N3.



**Εικόνα 2.15** : Δέκατη τρίτη τομή του N3.



**Εικόνα 2.16** : Δέκατη τέταρτη τομή του N3.



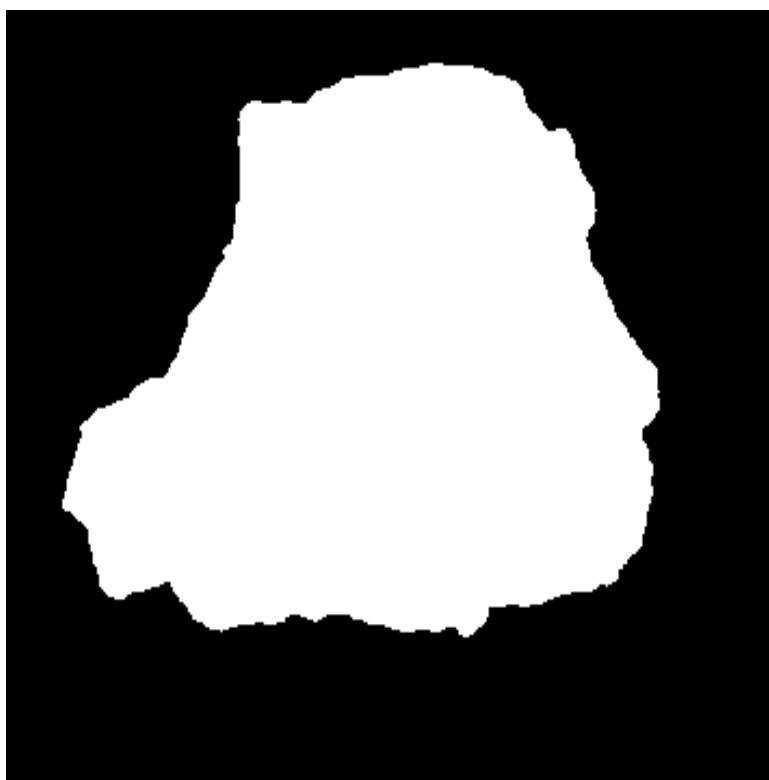
**Εικόνα 2.17** : Δέκατη πέμπτη τομή του N3.



**Εικόνα 2.18** : Δέκατη έκτη τομή του N3.



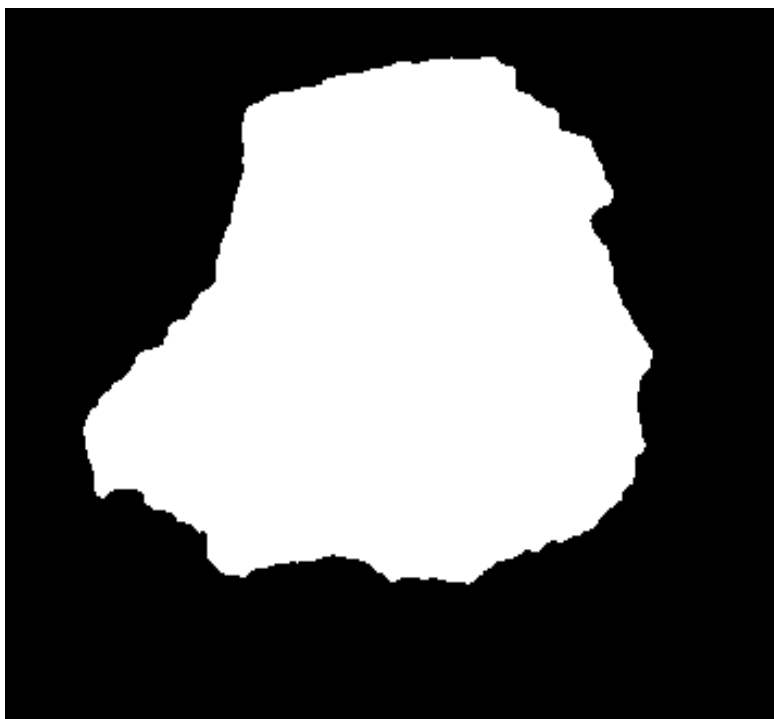
**Εικόνα 2.19** : Δέκατη έβδομη τομή του N3.



**Εικόνα 2.20** : Δέκατη όγδοη τομή του N3.



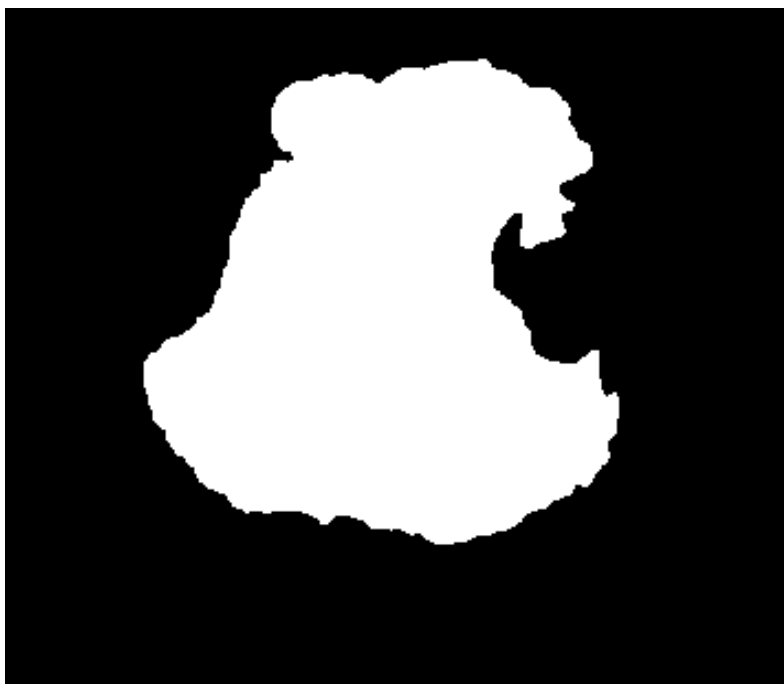
**Εικόνα 2.21** : Δέκατη ένατη τομή του N3.



**Εικόνα 2.22** : Εικοστή τομή του N3.



**Εικόνα 2.23** : Εικοστή πρώτη τομή του N3.



**Εικόνα 2.24** : Εικοστή δεύτερη τομή του N3.



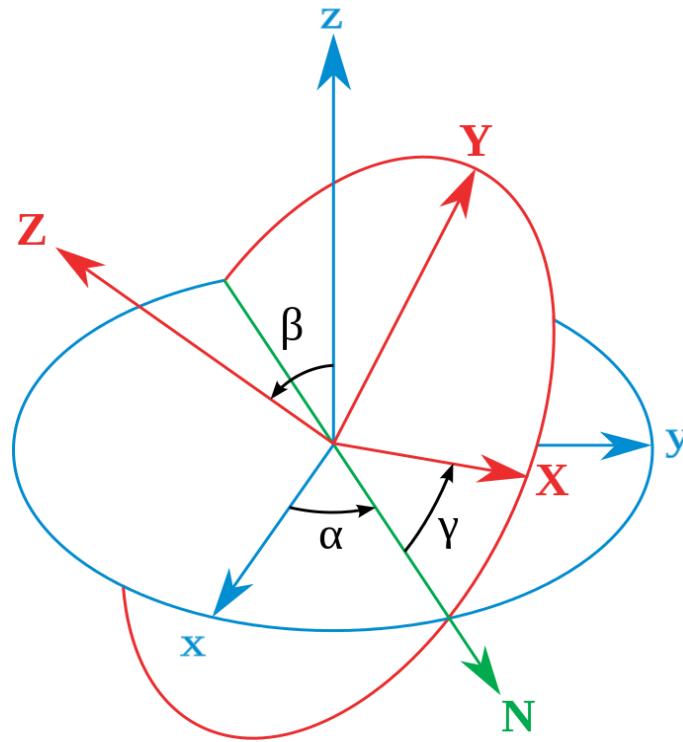
### 3.1 Αρχική Επεξεργασία Κονιαμάτων

#### 3.1.1 Περιστροφή Αντικειμένου με Γωνίες Euler

Στη θεωρία του Euler, οι γωνίες Euler προσδιορίζουν τον προσανατολισμό ενός στερεού σώματος. Στον τρισδιάστατο Ευκλείδειο χώρο απαιτούνται τρεις μεταβλητές για να περιγράψουν τον προσανατολισμό ενός τέτοιου αντικειμένου και οι γωνίες Euler αποτελούν μια από τις δυνατές περιγραφές. Μια άλλη εφαρμογή των γωνιών είναι στο συσχετισμό μεταξύ δυο συστημάτων αναφοράς. Τις συμβολίζουμε ως  $(\alpha, \beta, \gamma)$  ή  $(\varphi, \theta, \psi)$ .<sup>(8)</sup>

Οι γωνίες Euler αντιπροσωπεύουν μια σειρά από τρεις στοιχειώδεις περιστροφές ως προς ένα σταθερό σύστημα αναφοράς : μια περιστροφή κατά γωνία  $\alpha$  του άξονα  $x$ , κατά γωνία  $\beta$  του άξονα  $y$  και κατά  $\gamma$  του άξονα  $z$ . Κάθε νέος προσανατολισμός στον χώρο προκύπτει από την σύνθεση των παραπάνω στοιχειωδών περιστροφών. Σε διάφορες εφαρμογές η περιστροφή μπορεί να γίνεται και ως προς ένα περιστρεφόμενο σύστημα αναφοράς.<sup>(8)</sup>

Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζεται μια τέτοια περιστροφή. Το σταθερό σύστημα αξόνων συμβολίζεται με  $(x, y, z)$  ενώ το περιστρεφόμενο με  $(X, Y, Z)$ . Το διάνυσμα  $N$  είναι το διάνυσμα που εκκινεί από την κοινή αρχή των δυο συστημάτων αναφοράς και είναι κάθετο στο  $Zz$  σχηματιζόμενο πεδίο.<sup>(8)</sup>



### 3.2 Ορισμοί και Εξισώσεις Επιφανειών Κονιάματος

Προτού ξεκινήσουμε οποιαδήποτε σύγκριση είναι απαραίτητη μια πρώτη επεξεργασία των θραυσμάτων που θα χρησιμοποιηθούν. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται πιο τμήμα της συνολικής επιφάνειας των θραυσμάτων που επιλέξαμε είναι αποδεκτό. Μόνο για τα σημεία που ανήκουν σε αυτήν την περιοχή θα αναζητήσουμε ταίριασμα. Στα επόμενα βήματα παρατίθενται οι απαραίτητοι ορισμοί που διευκολύνουν την όλη διαδικασία.

#### 3.2.1 Καθορισμός επιφανειών.

Αρχικά ξεχωρίζουμε την άνω επιφάνεια του θραύσματος, δηλαδή το σχεδόν λείο τμήμα του που είναι ζωγραφισμένο. Εκεί εντοπίζεται ένα μέρος της τοιχογραφίας. Για να το πετύχουμε αυτό κατασκευάζουμε ένα βοηθητικό σχήμα, το οποίο θα αποτελείται από δυο παράλληλες επιφάνειες  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  σε απόσταση  $2\varepsilon$  μεταξύ τους. Το  $\varepsilon$  υπολογίζεται

σύμφωνα με την εξίσωση :  $\varepsilon = (2 \times 10^{-3} \times \text{resolution})$  και θα έχει πολύ μικρή τιμή. Έστω  $\Delta$  η επιφάνεια που κείται παράλληλα στις  $\Delta_1, \Delta_2$  σε ίση απόσταση απ'αυτές. Θεωρούμε ότι αυτή η επιφάνεια συμπίπτει με την άνω επιφάνεια του κονιάματος. Σε αυτήν την περίπτωση και για την τιμή του  $\varepsilon$  που επιλέχθηκε, όλα τα σημεία αυτής της επιφάνειας θα βρίσκονται μεταξύ των επιφανειών  $\Delta_1$  και  $\Delta_2$ . Έστω  $N^{US}$  το πλήθος αυτών των σημείων. Η μέση τιμή της απόστασης των σημείων  $N^{US}$  από το επίπεδο  $\Delta$  αναμένεται να είναι κοντά στο μηδέν. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας γωνίες Euler, περιστρέφεται το βοηθητικό σχήμα σε διάφορες θέσεις ώστε να εντοπιστεί εκείνη στην οποία θα προκύπτει μέγιστος αριθμός από  $N^{US}$  σημεία και ταυτόχρονα ελάχιστη μέση τιμή για την απόστασή τους από το επίπεδο  $\Delta$ .<sup>(2)</sup>

Η εξίσωση της άνω επιφάνειας του κονιάματος μπορεί να γραφτεί στην μορφή :

$A^{US} \cdot x + B^{US} \cdot y + C^{US} \cdot z + D^{US} = 0$ . Το βοηθητικό σχήμα στρέφεται ακολούθως προς την κατεύθυνση εκείνη στην οποία δεν τέμνεται με την συντομική επιφάνεια του θραύσματος. Σε αυτό το σημείο, επαναλαμβάνουμε αντίστροφα την παραπάνω κίνηση, πλησιάζοντας τώρα την βοηθητική επιφάνεια ώστε το επίπεδο  $\Delta$  να τέμνεται με την επιφάνεια του θραύσματος και να σχηματίζεται μια κλειστή καμπύλη η οποία θα ορίζει μια περιοχή μεγαλύτερη ή ίση από ένα κατώφλι. Το αντίστοιχο επίπεδο που προκύπτει θα έχει εξίσωση  $A^{US} \cdot x + B^{US} \cdot y + C^{US} \cdot z + D^{bs} = 0$  αποτελώντας ουσιαστικά την κάτω επιφάνεια του θραύσματος κρατώντας το στο χέρι.<sup>(2)</sup>

Τοποθετώντας το βοηθητικό σχήμα ώστε να τέμνει την άνω επιφάνεια του θραύσματος προκύπτει η επιφάνεια  $\Delta_2^{US}$ . Αντίστοιχα, μετακινούμε το βοηθητικό σχήμα ώστε η άνω επιφάνεια του να τέμνεται με την κάτω επιφάνεια του θραύσματος και συμβολίζουμε με  $\Delta_1^{BS}$  αυτό το επίπεδο. Η παράπλευρη επιφάνεια του κονιάματος θα είναι το μέγιστο υποσύνολο της επιφάνειας του αρχικού θραύσματος, η οποία θα βρίσκεται μεταξύ των  $\Delta_1^{BS}$  και  $\Delta_2^{US}$ .<sup>(2)</sup>

### 3.2.2 Κεντρικός άξονας

Για το υπόλοιπο της εργασίας, από την συνολική επιφάνεια του θραύσματος μελετάμε μόνο την επιφάνεια που προκύπτει από τις  $\Delta_2^{US}$  και  $\Delta_1^{US}$  περιοριζόμενες από την τομή τους με την επιφάνεια του θραύσματος καθώς και την πλευρική επιφάνεια του θραύσματος.<sup>(2)</sup>

Ο κεντρικός άξονας είναι ο άξονας που περνάει από το κέντρο βάρους του κονιάματος και είναι κάθετος στην άνω και κάτω επιφάνεια του. Τον συμβολίζουμε με ως  $n^{US} =$

$A^{US}, B^{US}, C^{US}$ ). Έπειτα, μετακινούμε προκειμένου ο κεντρικός άξονας να ταυτίζεται με τον άξονα z.<sup>(2)</sup>

### 3.2.3 Γωνίες περιστροφής

Για τις συγκρίσεις μεταξύ των θραυσμάτων είναι απαραίτητο να έχουμε παράξει όλες τις περιστρεφόμενες εκδοχές τους. Αυτό γίνεται για να ξεπεράσουμε την δυσκολία που μας δημιουργεί ο τυχαίος προσανατολισμός τους. Ξεκινούμε από μια γωνία  $\theta_0$ , η οποία συνήθως είναι το μηδέν και προχωρούμε με μικρά βήματα  $\delta\theta$  μέχρι την γωνία  $2\pi$ . Άρα προκύπτει μια ομάδα από γωνίες  $\theta_i = \theta_0 + \delta\theta \cdot i$ , για  $i = 1, 2, \dots$ . Για κάθε μια από τις γωνίες  $\theta_i$  λαμβάνουμε τις περιστρεφόμενες εκδοχές καθενός από τα θραύσματα περιστρέφοντας τα κατά  $\theta_i$  ως προς τον z-άξονα. Σε κάθε θραύσμα αντιστοιχεί το σύνολο  $\Pi^R$  όλων των περιστρεφόμενων εκδοχών του.<sup>(2)</sup>

## 4. Μεθοδολογία και Κριτήρια Σύγκρισης

### 4.1.Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφούν τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη στην σχεδίαση του συστήματος που θα πραγματοποιεί τις συγκρίσεις των κονιαμάτων. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε σημείο σύγκρισης υπολογίζονται οι τιμές τριών μεταβλητών : εμβαδόν περιοχής, γωνία ευθύγραμμων τμημάτων και μήκος αλυσίδας του δεύτερου κομματιού. Για να έχουμε ταίριασμα απαιτούμε οι παραπάνω τρεις μεταβλητές για το συγκεκριμένο σημείο να μην ξεπερνούν κάποιες καθορισμένες οριακές τιμές. Συνεπώς η μεθοδολογία θα αναζητά ταιριάσματα απορρίπτοντας πιθανά σημεία.

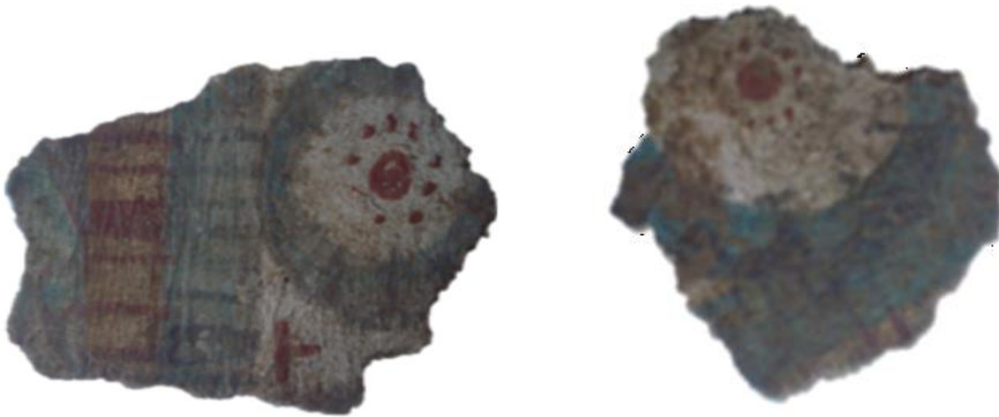
### 4.2.Μια πρώτη προσέγγιση: Οπτική παρατήρηση και Ομαδοποίηση

Ένα πρώτο βήμα προς αυτή την κατεύθυνση χωρίς ιδιαίτερη επιτυχία είναι η απλή οπτική εξέταση της ζωγραφισμένης επιφάνειας των κονιαμάτων. Επίσης, θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη μια καταρχήν ομαδοποίηση των θραυσμάτων ανάλογα με το αν εμφανίζουν κάποια όμοιο μοτίβο, σχέδιο ή χρωματισμό στην επιφάνεια τους. Έχοντας ομαδοποιήσει τα εμφανώς όμοια κομμάτια, μπορούμε να ασχοληθούμε ξεχωριστά με την κάθε ομάδα συγκρίνοντας αρχικά όλα τα κομμάτια αυτής της ομάδας μεταξύ τους.

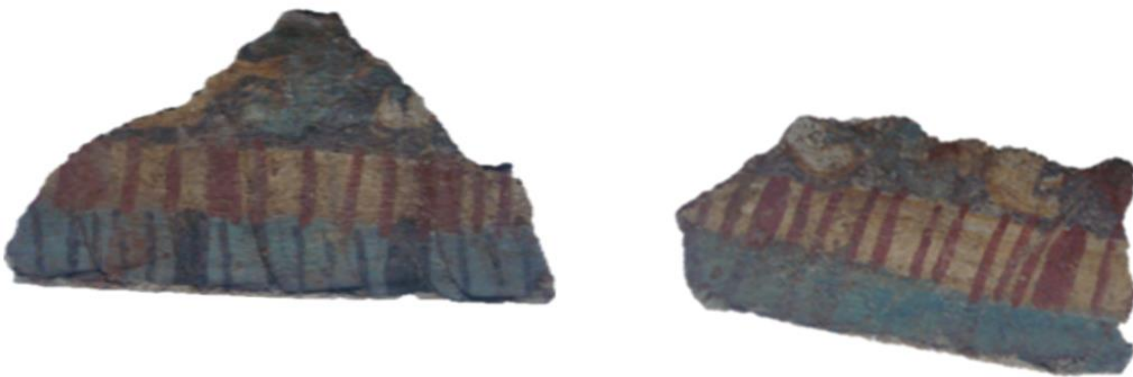
Στις εικόνες που ακολουθούν βλέπουμε μερικά παραδείγματα από ζεύγη κονιαμάτων με όμοια χαρακτηριστικά στην χρωματισμένη άνω επιφάνεια τους.



**Εικόνα 4.1.**



**Εικόνα 4.2**



**Εικόνα 4.3**

Τέλος, η παραπάνω επεξεργασία μας επιτρέπει να βάλουμε στην άκρη θραύσματα τα οποία έχουν υποστεί σημαντικές φθορές και δεν διακρίνονται τα σχέδια της σχεδόν επίπεδης άνω επιφάνειάς τους. Αυτά τα θραύσματα θα εξεταστούν τελευταία. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομούμε χρόνο από την επίπονη διαδικασία της σύγκρισης.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε ένα τέτοιο θραύσμα. Όπως βλέπουμε, τα σχέδια της χρωματισμένης επιφάνειας είναι δυσδιάκριτα. Έτσι, ακόμα και να προκύψει ταίριασμα από το σύστημα, η μετέπειτα οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων δεν θα μας δώσει μια σαφή οπτική επιβεβαίωση του ταυριάσματος. Για αυτόν τον λόγο θα ήταν προτιμότερο να εξεταστεί σε επόμενο στάδιο.



**Εικόνα 4.4**

Τέλος, μπορούμε να πούμε ότι μετά από αυτήν την σύντομη επεξεργασία ευελπιστούμε να αποκτήσουμε και μια διαισθητική άποψη για την απεικόνιση μεγάλου μέρους της τοιχογραφίας και κάποιων από τα μοτίβα της.

#### **4.3.Ορισμοί και βασικές έννοιες.**

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να οριστούν κάποια τμήματα, επιφάνειες και αλυσίδες των δυο προς σύγκριση κονιαμάτων.

Επιλέγονται τυχαία δυο από τα διαθέσιμα θραύσματα και τοποθετούνται με κατάλληλο τρόπο σε ένα σύστημα αναφοράς ώστε ο κεντρικός άξονας τους να ταυτίζεται με τον z-άξονα. Το πρώτο θραύσμα αποκαλείται «σταθερό» (fixed) θραύσμα, καθώς όπως θα φανεί και παρακάτω, παραμένει σταθερό σε κάθε γύρο σύγκρισης. Το δεύτερο θραύσμα αντιθέτως θα περιστρέφεται και έπειτα θα πλησιάζει το fixed για να δημιουργήσει την εκάστοτε περιοχή σύγκρισης. Για τον λόγο αυτό το ονομάζουμε «περιστρεφόμενο» (rotated) θραύσμα. Το rotated θραύσμα θα έχει τυχαίο προσανατολισμό και θέση ως προς τον κεντρικό άξονα. Υπενθυμίζουμε ότι πρωτύτερα έχουμε παράξει όλες τις περιστραμμένες εκδοχές του  $\Gamma^R$ .

Ορίζουμε το μήκος σύγκρισης ως  $L_C$  με μονάδα μέτρησης pixels. Έστω επίσης  $C^F$  η καμπύλη περιγράμματος του fixed θραύσματος. Επιλέγουμε μια ομάδα από  $L_C$  διαδοχικά pixels από την καμπύλη περιγράμματος του, ξεκινώντας από το πρώτο της pixel. Η αλυσίδα που θα δημιουργηθεί αποτελεί την «σταθερή» αλυσίδα  $\Gamma^F$ . Έπειτα για κάθε γωνία  $\theta_i$  το περιστρεφόμενο θραύσμα μετακινείται στην περιοχή του σταθερού με τον παρακάτω τρόπο. Ως  $C^R$  συμβολίζουμε την καμπύλη περιγράμματος του περιστρεφόμενου κομματιού και οποία αποτελείται από  $M$  το πλήθος pixels. Το rotated θραύσμα τοποθετείται στο επίπεδο ώστε το πρώτο pixel της  $C^F$  και το τελευταίο pixel της  $C^R$  να συμπίπτουν. Η επιφάνεια που περνάει από το τελευταίο pixel της σταθερής αλυσίδας, είναι παράλληλη ως προς τον κεντρικό άξονα του fixed κομματιού και κάθετη στην ευθεία γραμμή που ενώνει το πρώτο με το τελευταίο pixel της  $C^R$  θα είναι η «τελική barrier επιφάνεια».<sup>(2)</sup>

Δημιουργούμε μια περιστρεφόμενη αλυσίδα, τη  $\Gamma_{1,M}^R$ , κινούμενοι ανθρωπολογικά στην  $C^R$ , με αρχή το #M pixel και πέρας την τομή, αν υπάρχει, μεταξύ της τελικής barrier επιφάνειας και της  $C^R$ . Κινούμενοι ανθρωπολογικά πάνω στην  $C^R$  και αυξάνοντας τη  $\Gamma_{1,M}^R$ , ελέγχουμε αν το πλήθος των pixels της έχει ξεπεράσει κάποιο όριο  $L^{EX}$ . Σε αυτή την περίπτωση θα απορρίφθει το ταίριασμα σε αυτήν την θέση.<sup>(2)</sup>

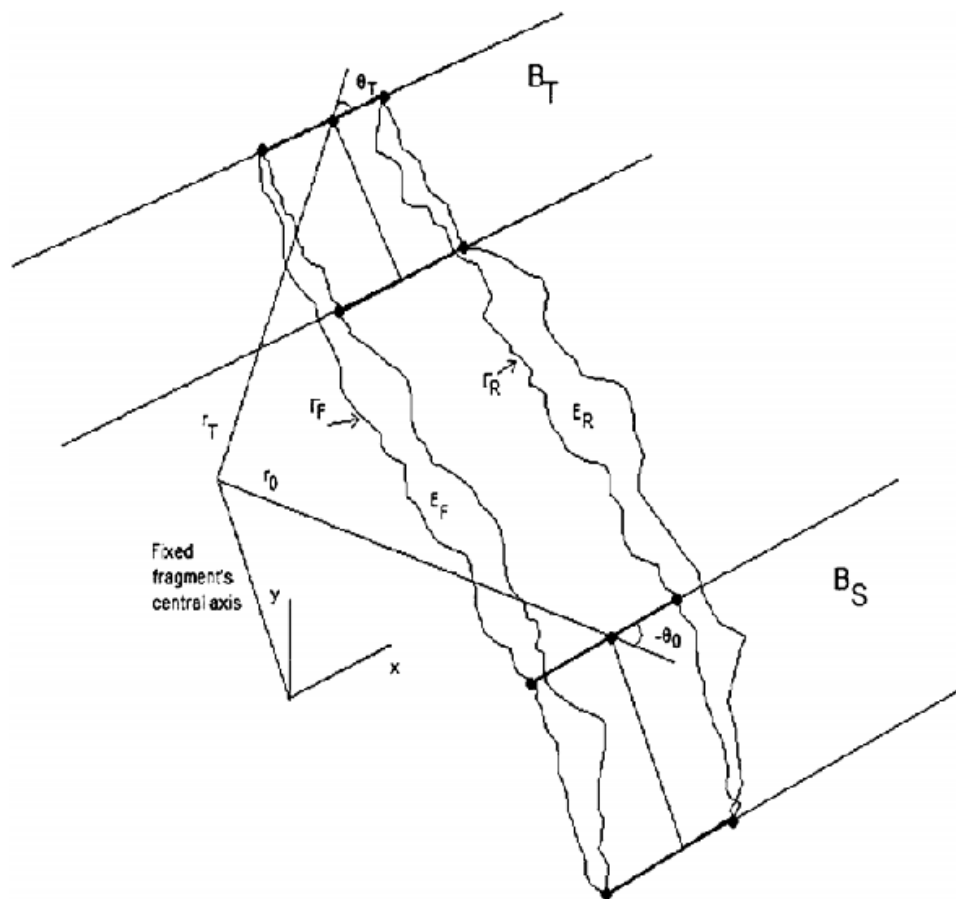
Η «αρχική barrier επιφάνεια»  $B_1^S$  είναι το επίπεδο που περνάει από το πρώτο σημείο της σταθερής αλυσίδας και είναι παράλληλο προς την τελική barrier επιφάνεια  $B_1^T$ .<sup>(2)</sup>

Τώρα μπορούν να οριστούν οι έννοιες των «fixed escarpment» (σταθερό πέτασμα) και «rotated escarpment» (περιστρεφόμενο πέτασμα). Το πρώτο από αυτά, το οποίο συμβολίζουμε ως  $E_1^F$ , είναι το τμήμα της πλευρικής επιφάνειας του fixed θραύσματος που περικλείεται από την άνω και κάτω επιφάνεια του καθώς και από τις  $B_1^S, B_1^T$ . Αντίστοιχα, το rotated escarpment  $E_{1,M}^R$ , είναι το τμήμα της παράπλευρης



επιφάνειας του rotated κομματιού που βρίσκεται μεταξύ της άνω και κάτω καθώς επίσης και της αρχικής και τελικής barrier επιφάνειας.<sup>(2)</sup>

Μια σχηματική αναπαράσταση όλων των παραπάνω εννοιών στην περιοχή σύγκρισης δίνεται στην εικόνα 4.5.



**Εικόνα 4.5.**<sup>(9)</sup>

Επαναλαμβάνοντας τα παραπάνω βήματα για κάθε ένα από τα σημεία της  $C^R$  κινούμενοι από το #M μέχρι και το πρώτο της pixel προκύπτει ένα σύνολο από περιστρεφόμενες αλυσίδες  $\Gamma_{1,m}^R$  και rotated escarpments  $E_{1,m}^R$ , όπου  $m=M, M-1, \dots$ . Τέλος, ορίζεται ένα σύνολο από σταθερές αλυσίδες  $\Gamma_{1,k}^F$  και fixed escarpments  $E_{1,k}^F$ , όπου  $k=1, 2, \dots$ , μετακινώντας το σημείο εκκίνησης  $k$  σε όλα τα σημεία της σταθερής αλυσίδας  $C^R$ .<sup>(2)</sup>

Αν για κάποιο σημείο  $k$  του fixed θραύσματος δεν υπάρχει τομή μεταξύ της  $B_k^T$  και του περιστρεφόμενου φράγματος, τότε προφανώς δεν υπάρχει περιστρεφόμενο πέτασμα σε αυτή την θέση.

## 4.4. Ανάπτυξη κριτηρίων

### 4.4.1 Πρώτο κριτήριο.

Το πρώτο κριτήριο αφορά την τιμή του εμβαδού της περιοχής που περικλείουν τα δυο θραύσματα στο σημείο σύγκρισης.<sup>(2)</sup>

Έστω A,B τα δυο συγκρινόμενα κομμάτια μαζί με τα σχετικά μεγέθη α) σταθερών και περιστρεφόμενων αλυσίδων ( $\Gamma_k^F$ ,  $\Gamma_{k,m}^R$ ), β) σταθερών και περιστρεφόμενων πετασμάτων ( $E_k^F$ ,  $E_{k,m}^R$ ) και γ) αρχικών και τελικών barrier επιφανειών ( $B_k^S$ ,  $B_k^T$ ). Τα δυο θραύσματα τοποθετούνται έτσι ώστε οι άνω επιφάνειες τους να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο το οποίο θα είναι κάθετο στον z-άξονα.<sup>(2)</sup>

Έστω ακόμα η περιοχή που σχηματίζεται από α) το κοινό άνω επίπεδο, β) το κάτω επίπεδο, το οποίο είναι το κοντινότερο εκ των δυο φραγμάτων επίπεδο ως προς την κοινή άνω επιφάνεια, γ) τα escarpments ( $E_k^F$ ,  $E_{k,m}^R$ ) και δ) τις barrier επιφάνειες ( $B_k^S$ ,  $B_k^T$ ). Θα την συμβολίζουμε με  $V_{k,m}$ .<sup>(2)</sup>

Αφού υπολογίσουμε τα εμβαδά  $\tau_{k,m}$  όλων των υποπεριοχών  $V_{k,m}$ . Ελέγχουμε αν ξεπερνούν μια προκαθορισμένη μέγιστη τιμή  $\tau^T$ . Σε περίπτωση που δεν την ξεπερνούν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι στο συγκεκριμένο σημείο έχουμε ταιρίασμα.<sup>(2)</sup>

### 4.4.2 Δεύτερο και τρίτο κριτήριο.

Εδώ θα ληφθεί υπόψη το φαινόμενο όπου υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των θραυσμάτων παρότι έχουμε ταιρίασμα σύμφωνα με το παραπάνω κριτήριο. Το φαινόμενο αυτό είναι σύνηθες λόγω των διάφορων ανακρίβειών που εισάγει η διαδικασία της τρισδιάστατης αναπαράστασης των κομματιών. Για αυτόν τον λόγο θα πρέπει να ελέγξουμε το αν το εμβαδόν της επικάλυψης μεταξύ των  $E_{k,m}^R$  και  $E_k^F$  είναι μικρότερο από κάποια οριακή τιμή  $\tau^O$ .<sup>(2)</sup>

Ωστόσο, γίνονται δεκτές και περιπτώσεις που το εμβαδό είναι μεγαλύτερο του  $\tau^O$ , καθώς η επικάλυψη μπορεί να δημιουργείται ύστερα από λανθασμένη τοποθέτηση του rotated θραύσματος δίπλα στο fixed.<sup>(2)</sup>

Το φαινόμενο αντιμετωπίζεται ως εξής : για κάθε σημείο  $p$  του rotated κομματιού σημειώνεται η διατομή του επιπέδου που είναι κάθετο στον  $z$ -άξονα και περνάει από το σημείο  $p$ , με το fixed κομμάτι. Έπειτα υπολογίζεται η μικρότερη απόσταση του σημείου  $p$  από όλα τα σημεία της διατομής. Έστω  $\mu^p$  το αντίστοιχο διάνυσμα και  $\mu$  η συνιστώσα με την μεγαλύτερη τιμή. Ακολούθως, το rotated φράγμα μετακινείται κατά  $-\mu$  από την θέση που είχε τοποθετηθεί στα προηγούμενα κριτήρια. Τέλος, ελέγχονται πάλι τα δυο προηγούμενα κριτήρια και αν ικανοποιούνται, τότε και αυτή η θέση είναι αποδεκτή παρότι αρχικά είχαμε επικάλυψη.<sup>(2)</sup>

Το τρίτο κριτήριο αποτελεί ουσιαστικά μια επέκταση του δεύτερου κριτηρίου καθώς σε αυτό λαμβάνεται υπόψη η συνολική επικάλυψη που εμφανίζεται στα προς ταίριασμα κομμάτια. Και εδώ ελέγχεται αν δεν ξεπερνιέται ένα όριο  $\tau^{FO}$  με την διαφορά ότι αυτή η τιμή αφορά το άθροισμα των επικαλύψεων σε όλα τα σημεία. Μια κατάλληλη επιλογή για το  $\tau^{FO}$  είναι μια πολύ μικρή τιμή ίση με το 0.3 % του μικρότερου εκ των δυο εμβαδών των προς σύγκριση φραγμάτων.<sup>(2)</sup>

#### 4.4.3 Τέταρτο κριτήριο.

Το επόμενο κριτήριο είναι το πρώτο απορριπτικό κριτήριο που θα χρησιμοποιήσουμε και αποτελεί μια αναγκαία αλλά όχι ικανή συνθήκη ταιριάσματος. Ύστερα από δοκιμές παρατηρήθηκε ότι το παραπάνω κριτήριο βελτιώνει θεαματικά την απόδοση του συστήματος. Η βασική ιδέα προκύπτει από την εξής συλλογιστική. Αν δυο κομμάτια  $A, B$  ταιριάζουν σε ένα σημείο, τότε αναμένουμε ότι σε αυτό το σημείο τα escarpments  $E_k^F, E_{k,m}^R$  θα ταυτίζονται, το εμβαδόν περιοχής  $\tau_{k,m}$  θα είναι μηδέν και και τα μοναδιαία διανύσματα στις όλων των σημείων των δυο escarpments θα είναι αντίθετα.<sup>(2)</sup>

Στην πραγματικότητα όμως αυτές οι συνθήκες δεν ικανοποιούνται πάντα. Αυτό συμβαίνει ακόμη και όταν είναι εμφανές ότι τα δυο κονιάματα ταιριάζουν στις άνω σχεδόν επίπεδες επιφάνειες τους. Εντούτοις, στα διάφορα σημεία ταιριάσματος είναι πολύ πιθανό να εμφανίζονται κενά λόγω της καταπόνησης και θραύσης που υπέστησαν τα θραύσματα στο πέρασμα του χρόνου.<sup>(2)</sup>

Θα κάνουμε χρήση αρχών Διαφορικού Λογισμού ώστε να βρούμε μια τιμή-όριο την οποία δεν θα πρέπει να ξεπερνάει η μέση τιμή των γωνιών των διανυσμάτων  $\partial V_{k,m}$ .

#### 4.4.4 Πέμπτο κριτήριο.

Το τελευταίο κριτήριο πραγματεύεται το μήκος της αλυσίδας  $\Gamma_{k,m}^R$  και πιο συγκεκριμένα τη μέγιστη στην οποία μπορεί να φτάσει δεδομένου ότι ικανοποιείται το πρώτο και το τέταρτο κριτήριο. Η διαδικασία αυτή καθίσταται αναγκαία καθώς μπορεί να προκύψει το παρακάτω σενάριο.<sup>(2)</sup>

Έστω τα δυο συγκρινόμενα θραύσματα A,B. Το rotated θραύσμα τοποθετείται έτσι ώστε το #k pixel της  $C^F$  να έρχεται σε επαφή με το #M pixel της  $C^R$ . Σε αυτή τη θέση οι barrier επιφάνειες  $B_k^S$  και  $B_k^T$  είναι αυστηρά ορισμένες. Καθώς εξελίσσεται η διαδικασία της σύγκρισης, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, το θραύσμα B θα περιστρέφεται προς άξονα κάθετο στο xy επίπεδο και ο οποίος θα διέρχεται από το σημείο σύγκρισης. Μετά όμως από κάποια περιστροφή είναι πιθανό το B να μην τέμνεται με την τελική barrier επιφάνεια και έτσι να μην σχηματίζεται το  $E_{k,m}^R$  ή ακόμη και αν υπάρχει τομή, το  $E_{k,m}^R$  να είναι πολύ απομακρυσμένο από το fixed κομμάτι. Θα πρέπει λοιπόν να συσχετιστεί το πλάτος του  $E_{k,m}^R$  με την μέγιστη αποδεκτή τιμή για  $\tau^T$  για το  $V_{k,m}$ . Αυτό γίνεται εκφράζοντας το πλάτος αυτό σε σχέση με το μήκος της αλυσίδας της  $\Gamma_{k,m}^R$ . Το ερώτημα στο οποίο καταλήγουμε είναι το κατά πόσο μπορεί να επιμηκυνθεί η αλυσίδα  $\Gamma_{k,m}^R$  ώστε να πληρούνται το πρώτο και το τέταρτο κριτήριο ταιριάσματος.<sup>(2)</sup>

## 5. Ανάπτυξη του συστήματος.

### 5.1 Περιγραφή του συστήματος.

Βασιζόμενοι στους ορισμούς και στα κριτήρια που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, προχωρούμε στον σχεδιασμό του συστήματος.

Το σύστημα είναι ένα πρόγραμμα γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού C. Πρωτίτερα έχουμε συλλέξει την τρισδιάστατη απεικόνιση κάθε διαθέσιμου θραύσματος, δηλαδή τις εικόνες όλων των τομών του. Επιπλέον έχουμε στρέψει κατάλληλα τα θραύσματα ώστε να προκύψουν όλες οι περιστρεφόμενες εκδοχές τους. Οι εικόνες των κονιαμάτων μετατρέπονται σε αρχεία txt, δηλαδή σε πίνακες με στοιχεία 0 και 1, όπου το 1 αντιστοιχεί στα σημεία της εικόνας όπου υπάρχει το θραύσμα.

Το σύστημα θα πραγματοποιεί τους ελέγχους για μια προκαθορισμένη τιμή του μήκους σύγκρισης. Στις περιπτώσεις που δεν προκύπτει κανένα ταίριασμα θα μειώνουμε την τιμή αυτή ενώ όταν έχουμε ταίριασμα θα την αυξάνουμε μέχρι να μην υπάρχει ταίριασμα. Για κάθε σημείο ελέγχου θα δημιουργείται ένα κατάλληλο χωρίο του οποίου το εμβαδό θα ελέγχει το σύστημα.<sup>(9)</sup>

Σε κάθε «τρέξιμο» του συστήματος θα ελέγχεται η ύπαρξη ή μη ταιριάσματος μεταξύ δυο κονιαμάτων. Σύμφωνα με την μεθοδολογία τα δυο κονιάματα τοποθετούνται με συγκεκριμένο τρόπο στο xyz επίπεδο. ώστε οι άνω επιφάνειες τους να είναι μεταξύ τους παράλληλες και κάθετες ως προς τον z-άξονα.

Το πρώτο θραύσμα θα παραμένει σταθερό για κάθε γύρο του τρεξίματος ενώ το δεύτερο θα περιστρέφεται ώστε να εξεταστούν όλες οι πιθανές θέσεις ταιριάσματος. Η περιστροφή γίνεται με βήμα  $1^\circ$  τη φορά μέχρι τις  $360^\circ$ . Για κάθε γωνία περιστροφής το σύστημα εξετάζει κάθε σημείο της καμπύλης περιγράμματος του σταθερού κονιαματος με όλα τα σημεία του δεύτερου κονιαματος. Η εξέταση αφορά ουσιαστικά την σύγκριση όλων των αλυσίδων του σταθερού κονιαματος, με σταθερό μήκος, με κάθε δυνατή αλυσίδα περιγράμματος του περιστρεφόμενου κονιαματος.<sup>(9)</sup>

Τα κριτήρια είναι τα ακόλουθα :

- Το εμβαδό μιας κατάλληλα ορισμένης περιοχής που δημιουργείται από τις δυο αλυσίδες είναι μηδέν. Διάφοροι παράγοντες ενδεχομένως να έχουν προκαλέσει ατέλειες στα συγκρινόμενα θραύσματα, οπότε το σύστημα θα κάνει δεκτά και εμβαδά τα οποία δεν είναι μηδέν όπως στην ιδανική περίπτωση, άλλα

τουλάχιστον δεν ξεπερνούν κάποια μέγιστη τιμή που έχουμε επιλέξει. Ο τρόπος καθορισμού της οριακής τιμής για το εμβαδόν περιγράφεται σε προηγούμενο κεφάλαιο.

- Η παράπλευρες επιφάνειες ιδανικά θα πρέπει να έχουν όμοιες γεωμετρίες.
- Τα μήκη των δυο συγκρινόμενων αλυσίδων θα πρέπει να έχουν μικρή διαφορά καθώς σε αντίθετη περίπτωση αναμένεται να μην υπάρχει ταίριασμα. Τα δυο μήκη δεν θα πρέπει να ξεπερνούν μια τιμή κατωφλίου.

Έστω ότι ικανοποιούνται όλα τα παραπάνω κριτήρια. Το επόμενο βήμα είναι να γίνει έλεγχος αν οι αντίστοιχες αλυσίδες της από κάτω τομής πληρούν και αυτές τα παραπάνω κριτήρια. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να ελεγχθούν και όλες οι υπόλοιπες τομές. Μονο στην περίπτωση που όλοι οι έλεγχοι περαστούν με επιτυχία το σύστημα μας πληροφορεί για ταίριασμα των δυο αλυσίδων.<sup>(9)</sup>

## 5.2 Λειτουργία του συστήματος

Κάθε σύγκριση που πραγματοποιεί το σύστημα περνάει διαδοχικά από τα παρακάτω στάδια :

- Διάβασμα εικόνας της πρώτης τομής και περαιτέρω επεξεργασία.
- Καθορισμός περιγράμματος πρώτης εικόνας.
- Διάβασμα, επεξεργασία και περιστροφή δεύτερης εικόνας.
- Καθορισμός περιγράμματος δεύτερης εικόνας.
- Εύρεση απόστασης μετατόπισης των pixels του περιστρεφόμενου κονιάματος μέχρι τα σημεία του fixed.
- Δημιουργία σταθερής αλυσίδας και εύρεση ορίων.
- Εξέταση ορίων για το μήκος.
- Έλεγχος γωνίας που σχηματίζουν οι δυο αλυσίδες.
- Υπολογισμός εμβαδού του χωρίου που σχηματίζουν οι δυο αλυσίδες.
- Έλεγχος ορίων για το εμβαδό και για το ποσοστό της πιθανής επικάλυψης.
- Διάβασμα εικόνας της επόμενης τομής για το σταθερό θραύσμα.
- Καθορισμός του νέου περιγράμματος.
- Δημιουργία νέας σταθερής αλυσίδας.
- Διάβασμα εικόνας της επόμενης τομής για το περιστρεφόμενο θραύσμα.

- Εύρεση ορίων για τις νέες αλυσίδες.
- Έλεγχος μέγιστης τιμής γωνίας.
- Έλεγχος ορίου εμβαδού περιοχής.
- Αποθήκευση σημείου στο οποίο βρέθηκε ταίριασμα.
- Επιστροφή αποτελεσμάτων.

### 5.3 Έξοδος του συστήματος.

Το σύστημα μας δίνει έξοδο ένα txt αρχείο. Το αρχείο αυτό, αν έχει υπάρξει ταίριασμα σε κάποιο σημείο θα αποτελείται από ένα σύνολο τιμών, τις οποίες θα αξιοποιήσουμε στη συνέχεια για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Μεταξύ αυτών των τιμών περιλαμβάνονται:

- Η γωνία περιστροφής του περιστρεφόμενου θραύσματος στην οποία υπάρχει ταίριασμα.
- Ο αύξοντες αριθμός του σημείου αρχής της σταθερής αλυσίδας για την οποία βρέθηκε το ταίριασμα.
- Ο αύξοντας αριθμός του σημείου αρχής της περιστρεφόμενης αλυσίδας για την οποία βρέθηκε το ταίριασμα.
- Η τεταγμένη του σημείου του περιγράμματος του σταθερού θραύσματος στο οποίο βρέθηκε το ταίριασμα.
- Η τετμημένη του σημείου του περιγράμματος του σταθερού θραύσματος στο οποίο βρέθηκε το ταίριασμα.
- Η τεταγμένη του σημείου του περιγράμματος του περιστρεφόμενου θραύσματος στο οποίο βρέθηκε το ταίριασμα πριν υποστεί την περιστροφή.
- Η τετμημένη του σημείου του περιγράμματος του περιστρεφόμενου θραύσματος στο οποίο βρέθηκε το ταίριασμα πριν υποστεί την περιστροφή.
- Ο αριθμός που χρειάστηκε να προσθέσουμε στην τεταγμένη του σημείου επαφής του περιστρεφόμενου θραύσματος ώστε να συμπίπτει με εκείνη του σημείου επαφής του σταθερού θραύσματος.
- Ο αριθμός που χρειάστηκε να προσθέσουμε στην τετμημένη του σημείου επαφής του περιστρεφόμενου θραύσματος ώστε να συμπίπτει με εκείνη του σημείου επαφής του σταθερού θραύσματος.
- Η μέση τιμή των εμβαδών μεταξύ όλων των τομών των θραυσμάτων για τα συγκεκριμένα σημεία επαφής.
- Η μέγιστη τιμή των εμβαδών μεταξύ όλων των τομών των θραυσμάτων για τα συγκεκριμένα σημεία επαφής.

- Η μέση τιμή των εμβαδών επικάλυψης μεταξύ όλων των τομών των θραυσμάτων για τα συγκεκριμένα σημεία επαφής.
- Η μέγιστη τιμή των εμβαδών επικάλυψης μεταξύ όλων των τομών των θραυσμάτων για τα συγκεκριμένα σημεία επαφής.
- Η μέγιστη τιμή του ποσοστού επικάλυψης μεταξύ όλων των τομών των θραυσμάτων για τα συγκεκριμένα σημεία επαφής.
- Η ελάχιστη τιμή του ποσοστού επικάλυψης μεταξύ όλων των τομών των θραυσμάτων για τα συγκεκριμένα σημεία επαφής.
- Η ελάχιστη τιμή του καθαρού εμβαδού μεταξύ όλων των τομών των θραυσμάτων για τα συγκεκριμένα σημεία επαφής.



## 6. Οπτικοποίηση των Αποτελεσμάτων.

### 6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων του συστήματος στο περιβάλλον της Matlab. Πιο πριν απαιτείται επεξεργασία των θραυσμάτων ώστε να προκύψουν τα overlays των κονιαμάτων. Για αυτόν τον σκοπό θα χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό επεξεργασίας εικόνας Gimp 2. Τέλος θα περιγραφούν κάποιες χαρακτηριστικές κατηγορίες αποτελεσμάτων που συναντώνται και θα συνοδευτούν με τις αντίστοιχες εικόνες.

### 6.2 Λήψη overlays κονιαμάτων

Σκοπός εδώ είναι η προετοιμασία για την σωστή οπτικοποίηση των ταιριασμάτων που έδωσε το σύστημα ως έξοδο. Στις φωτογραφίες που διαθέτουμε για τα διάφορα κονιάματα υπάρχουν και περιοχές οι οποίες δεν είναι ζωγραφισμένες.



**Εικόνα 6.1** : Ένα τυχαίο κονίαμα με θρυμματισμένα τμήματα στην άνω επιφάνεια του.

Αυτό συμβαίνει λόγω των φθορών που έχουν υποστεί αυτά τα αντικείμενα στο πέρασμα του χρόνου αλλά και στην προσπάθεια αποθήκευσής τους. Θέλουμε να απομονώσουμε την ζωγραφισμένη άνω επιφάνεια ώστε η εικόνες που θα λάβουμε για τα ταιριάσματα που βρήκαμε να απεικονίζουν μόνο τμήματα της τοιχογραφίας. Συνεπώς θα μπορούμε πιο εύκολα να αποφανθούμε αν πέρα από το γεωμετρικό ταίριασμα που μας έδωσε το σύστημα υπάρχει και ταίριασμα των εικόνων των άνω επιφανειών.

Η εργασία αυτή επιτελείται με την βοήθεια του προγράμματος Gimp 2. Είναι ένα δωρεάν ελεύθερο λογισμικό επεξεργασίας γραφικών τύπου raster. Είναι εργαλείο που χρησιμοποιείται κυρίως για την διαμόρφωση και την επεξεργασία εικόνας. Εκτός από τη λεπτομερή επιδιόρθωση εικόνων και τη σχεδίαση ελεύθερης μορφής, το Gimp μπορεί να φέρει εις πέρας και άλλες βασικές εργασίες όπως η αλλαγή μεγέθους, η επεξεργασία, το φωτομοντάζ συνδυάζοντας πολλαπλές εικόνες και η μετατροπή μεταξύ διαφορετικών μορφών εικόνας.<sup>(10)</sup>

Στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζονται διάφορα κονιάματα με τα overlays που τους αντιστοιχούν.



**Εικόνα 6.2 α**



**Εικόνα 6.2 β**



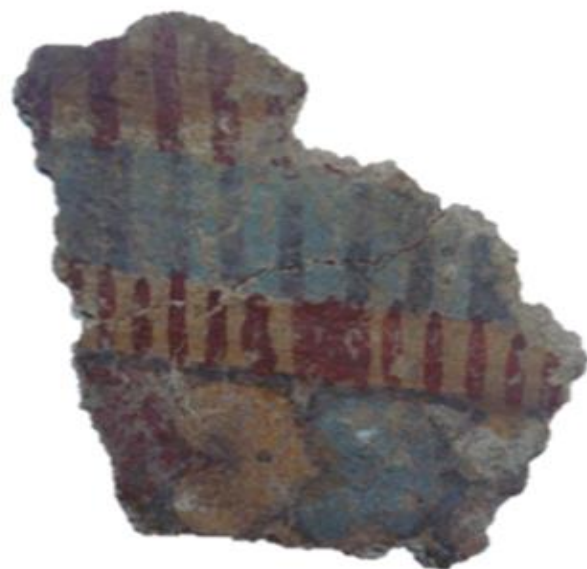
**Εικόνα 6.3 α**



**Εικόνα 6.3 β**



**Εικόνα 6.4 α**



**Εικόνα 6.4 β**



**Εικόνα 6.5 α**



**Εικόνα 6.5 β**

### **8.3 Απεικόνιση Ταιριασμένων Κονιαμάτων**

Σε αυτό το σημείο απομένει η απεικόνιση των ταιριασμένων κονιαμάτων σε μια εικόνα έχοντας περιστρέψει το δεύτερο κομμάτι κατάλληλα ώστε να ενώνεται στο σημείο που υπάρχει το ταίριασμα. Η διαδικασία γίνεται με χρήση κατάλληλου προγράμματος στο περιβάλλον της Matlab. Επειδή πολλές από τις τελικές εικόνες που προκύπτουν έχουν κοινά χαρακτηριστικά θα αναφερθούμε ξεχωριστά σε αυτές.

Στην εικόνα 6.6 απεικονίζεται ένα ζευγάρι θραυσμάτων που έχουν ταιριάξει σωστά σύμφωνα με το σύστημα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την οπτική παρατήρηση της εικόνας, παρά τις μικρές ατέλειες λόγω θραύσης που παρουσιάζονται στην περιοχή του ταίριασματος. Μπορούμε λοιπόν να χαρακτηρίσουμε επιτυχημένη την σύνδεση και αξιοποιήσιμη από τους αρχαιολόγους.



**Εικόνα 6.6 :** Ένα επιτυχημένο ταίριασμα κονιαμάτων που μας έδωσε το σύστημα.

Στην επόμενη εικόνα απεικονίζεται άλλο ένα ταίριασμένο ζεύγος θραυσμάτων σύμφωνα με το σύστημα. Είναι εμφανές ότι οι αλυσίδες στο σημείο σύγκρισης είναι σχεδόν όμοιες. Εντούτοις, η συνολική εικόνα των άνω επιφανειών δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή καθώς δεν υπάρχει αλληλουχία στα μοτίβα τους ή κάποια ενιαία παράσταση.



**Εικόνα 6.7 α :** Ένα ζεύγος κονιαμάτων που ικανοποιεί τα κριτήρια, αλλά τελικά απορρίπτεται.

Η παραπάνω εικόνα είναι ενδεικτική μιας κατηγορίας αποτελεσμάτων που εμφανίζεται συχνά. Αφορά την περίπτωση όπου ένα εκ των δυο συγκρίσιμων θραυσμάτων έχει καμπύλη περιγράμματος της οποίας κάποιο τμήμα είναι τελείως ευθύγραμμο. Στην εικόνα 6.7 α το αριστερό θραύσμα αυτής της κατηγορίας (θα το αναφέρουμε ως N37).

Αυτού του τύπου τα θραύσματα προκαλούν το εξής φαινόμενο. Όταν θα δίνονται ως είσοδος στο σύστημα, τότε το σύστημα θα εντοπίζει πάντα κάποιο ταιριάσμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθυστερεί σημαντικά και να δίνει μεγάλο αριθμό από θέσεις ταιριάσματος που πιθανότατα δεν θα γίνουν αποδεκτές.

Για το ζεύγος της εικόνας 6.7 α το σύστημα δίνει ταιρίασμα για τα περισσότερα σημεία της επίπεδης πλευράς κάτι που μπορούμε να το επιβεβαιώσουμε και από τις επόμενες εικόνες. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς για όλα τα σημεία αυτής πλευράς προκύπτουν αλυσίδες και escrapments που επαληθεύουν εύκολα τα όρια των κριτηρίων. Δηλαδή, όταν θα προκύπτει ταιρίασμα για ένα σημείο αυτής της πλευράς, τότε θα υπάρχει πιθανότατα ταιρίασμα και στα διπλανά της σημεία.

Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε ότι για τα κονιάματα της εικόνα 6.7 α υπάρχει ταιρίασμα σε άλλα τρία σημεία της επίπεδης πλευράς του N37. Όπως αναμενόταν και αυτά τα ζευγαρώματα απορρίπτονται.

Συχνά αναφερόμαστε στα κονιάματα που έχουν μια σχεδόν επίπεδη παράπλευρη επιφάνεια όπως το N37 ως «κομμάτια βάσης» παρομοιάζοντας τα με τα κομμάτια ενός πάζλ που τοποθετούνται στις πλευρές σχηματίζοντας το πλαίσιο.

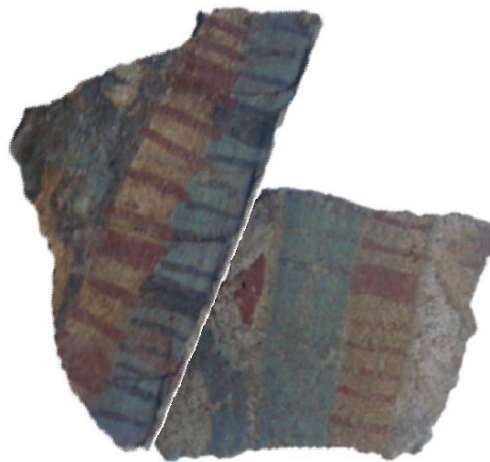


**Εικόνα 6.7 β**





**Εικόνα 6.7 γ**



**Εικόνα 6.7 δ**

Τέλος, βλέπουμε ότι λόγω της ιδιαιτερότητας της γεωμετρίας τέτοιων κομματιών, τα κριτήρια θα πληρούνται εύκολα για τα περισσότερα κομμάτια με τα οποία συγκρίνονται. Πιο συγκεκριμένα, η επίπεδη πλευρά του N37 δημιουργεί πιο εύκολα αλυσίδες η οποίες ικανοποιούν τα κριτήρια με οποιοδήποτε κνίαμα συγκρίνεται.

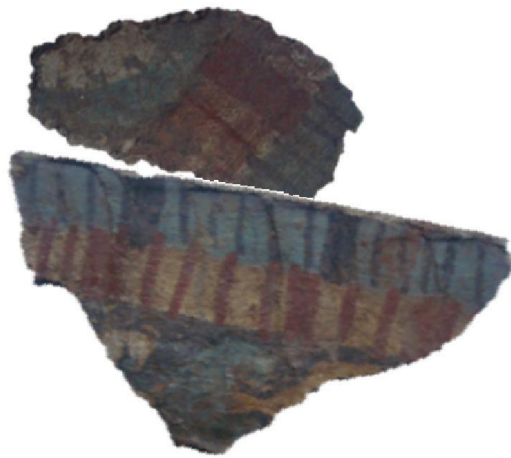
Ακολουθούν διάφορα κονιάματα που ταιριάζουν γεωμετρικά με το N37, αλλά όχι και οι εικόνες των σχεδόν λείων άνω επιφανειών τους.



**Εικόνα 6.8**



**Εικόνα 6.9**



**Εικόνα 6.10**

Για να αποφύγουμε αντίστοιχες περιπτώσεις,όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο,γίνεται ομαδοποίηση αυτών των κομματιών και εξετάζονται τελευταία.Σε κάθε περίπτωση ακόμα και αυτά τα μη αποδεκτά ζεύγη επιβεβαιώνουν την λειτουργικότητα του συστήματος.

Μια άλλη περίπτωση που συναντάται είναι αυτή όπου τα ταιριασμένα θραύσματα εμφανίζονται κατα την οπτικοποίηση διαχωρισμένα,δηλαδή με τις ζωγραφισμένες επιφάνειες τους να μην ακουμπούν μεταξύ τους.Αυτό το φαινόμενο δεν αποτελεί κάποια αστοχία του συστήματος.Τα δυο κοινάματα ικανοποιούν τα κριτήρια για κάποιο σημείο της καμπύλης περιγράμματος που ανήκει στις τομές κάτω από την άνω σχεδόν λεία επιφάνεια.Επιπλέον,όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο έχουμε απομονώσει μόνο τις ζωγραφισμένες επιφάνειες και έτσι δεν είναι ορατό στην οπτικοποίηση το σημείο επαφής στο σημείο ταιριάσματος.

Οι ακόλουθες εικόνες απεικονίζουν διάφορα τέτοια ταιριάσματα.



**Εικόνα 6.11**



**Εικόνα 6.12**



**Εικόνα 6.13**



**Εικόνα 6.14**

Ένα ανεπιθύμητο αποτέλεσμα που παρουσιάζεται συχνά είναι όταν έχουμε στην τελική εικόνα πολύ μεγάλη επικάλυψη στο σημείο του ταιριάσματος. Όταν παρατηρούμε κάτι τέτοιο είναι πολύ πιθανό τα overlays των κονιαμάτων να μην έχουν ληφθεί σωστά. Στις παρακάτω εικόνες είναι εμφανές ότι ένα από τα δυο κονιάματα έχει προβληματικό overlay.



**Εικόνα 6.15**



**Εικόνα 6.16**

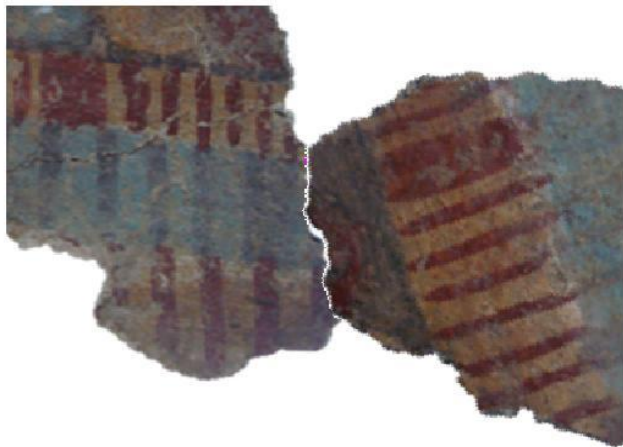
Στις ακόλουθες εικόνες απεικονίζονται ταιριασμένα κονιάματα που τελικά απορρίφθηκαν. Εντούτοις, η οπτικοποίηση επιβεβαιώνει ξεκάθαρα την λειτουργικότητα του συστήματος. Οι καμπύλες περιγράμματος στο σημείο ταιριάσματος είναι σχεδόν όμοιες και συνεπώς τα κονιάματα ικανοποιούν τα κριτήρια σε αυτές τις θέσεις. Επίσης παρατηρούμε ότι οι παράπλευρες επιφάνειες ακουμπούν τέλεια μεταξύ τους σε αυτά τα σημεία.



**Εικόνα 6.17**

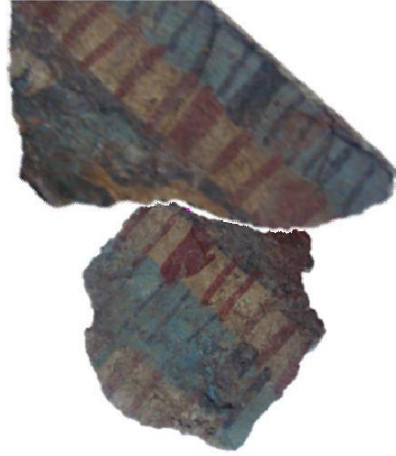


**Εικόνα 6.18**



**Εικόνα 6.19**





**Εικόνα 6.20**



**Εικόνα 6.21**



**Εικόνα 6.22**

## Βιβλιογραφία

1. [http://gefyri-plakas.ntua.gr/sites/default/files/13\\_Papaodysseus.pdf](http://gefyri-plakas.ntua.gr/sites/default/files/13_Papaodysseus.pdf)
2. C.Papaodysseus , D.Arabadjis ,M. Exarhos ,P. Rousopoulos ,S. Zannos , M.Panagopoulos ,L. Papazoglou-Manioudaki “Efficient solution to the 3D problem of automatic wall paintings reassembly”, (2012) Computers and Mathematics with Applications, 64 (8), pp. 2712-2734.  
DOI: 10.1016/j.camwa.2012.08.003
3. <http://el.wikipedia.org/wiki/Τίρουθα>
4. <http://www.nafplio.gr/arxaiologikoixoroiseimiamenu/145--unesco.html>
5. [http://www.cs.uoi.gr/~sfikas/myceneenne/SFIKAS\\_ergasiaMykhnaikh2012.pdf](http://www.cs.uoi.gr/~sfikas/myceneenne/SFIKAS_ergasiaMykhnaikh2012.pdf)
6. [http://www.dirdim.com/lm\\_everything.htm](http://www.dirdim.com/lm_everything.htm)
7. [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner)
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Euler\\_angles](https://en.wikipedia.org/wiki/Euler_angles)
9. Αργυρώ Βαλτάρα : Μελέτη επί της Αυτόματης Ανακατασκευής Θραυσμένων Αντικειμένων Εφαρμογή σε Αρχαιολογικά Ευρήματα Διπλωματική εργασία, επιβλέπων Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς, Αθήνα 2011.
10. <https://el.wikipedia.org/wiki/GIMP>

