

Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη της μεθοδολογίας της διαδικασίας δημιουργίας στερεών μοντέλων μέσω μεθόδων ανάστροφης μηχανολογίας. Η δημιουργία των στερεών μοντέλων είχε διπλό στόχο. Κατά πρώτον χρησιμοποιήθηκαν για τον ακριβή σχεδιασμό καλουπιών, προκειμένου για την παραγωγή ακριβών αντιγράφων. Η δημιουργία ενός στερεού μοντέλου σε ένα CAD πρόγραμμα αποτελεί ένα σημαντικό βήμα αυτής της διαδικασίας. Κατά δεύτερον, το στερεό μοντέλο ενός αντικειμένου μπορεί να αξιοποιηθεί στην μελέτη αστοχίας μεταλλικών αντικειμένων. Ένα σύνολο από προγράμματα που χρησιμοποιούνται στην μελέτη αστοχίας, όπως είναι αυτά που χρησιμοποιούν τα πεπερασμένα στοιχεία, χρειάζονται για δεδομένα εισόδου στερεά μοντέλα. Η σάρωση πραγματοποιήθηκε από έναν οπτικό laser σαρωτή που διέθετε το Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας, ενώ για την επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από τη σάρωση, μέχρι τη δημιουργία του στερεού μοντέλου, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Rhinoceros. Τα κεραμικά αντικείμενα παρουσίαζαν διαφόρων ειδών γεωμετρίες με αποτέλεσμα οι τρόποι σάρωσης και επεξεργασίας στο λογισμικό να διαφέρουν από αντικείμενο σε αντικείμενο. Το πρώτο κεραμικό αντικείμενο, ήταν ένα προσωπίο, το οποίο ήταν κλειστό από πίσω με επίπεδη επιφάνεια. Το προσωπίο τοποθετήθηκε πάνω στο τραπέζι της μηχανής στηριζόμενο στην επίπεδη επιφάνεια, και σαρώθηκε όλη η εμπρόσθια όψη χωρίς να χρειάζεται μετακίνηση ή περιστροφή. Το δεύτερο κεραμικό αντικείμενο ήταν μια προτομή αλόγου. Για τη σάρωσή του χρησιμοποιήθηκε ένα εξάρτημα που προσφέρει ο κατασκευαστής, το οποίο επέτρεψε στο αντικείμενο να περιστρέφεται, ώστε να σαρωθεί το σύνολο της επιφάνειάς του. Το τρίτο κεραμικό αντικείμενο ήταν ένα αγαλματίδιο με τη μορφή αρχαίου κούρου. Για τη σάρωσή του ήταν απαραίτητη η δημιουργία ενός τεχνητού συστήματος αναφοράς που να επιτρέπει την κατά βούληση μετατόπιση του αντικειμένου πάνω στο τραπέζι της μηχανής, αφού λόγω μεγέθους ήταν αδύνατο να προσαρτηθεί στο πλαίσιο του κατασκευαστή. Το αγαλματίδιο τοποθετήθηκε σε θέσεις ανάλογα με το τμήμα της επιφάνειας που ήταν να σαρωθεί. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η σύνθεση των νεφών δεν πραγματοποιήθηκε από το λογισμικό του σαρωτή, αλλά κατά την επεξεργασία στο Rhinoceros. Τα μεταλλικά αντικείμενα τοποθετήθηκαν πάνω στο σαρωτή και σαρώθηκε μόνο η επιφάνεια θραύσης τους, καθώς οι υπόλοιπες επιφάνειες αποτελούσαν απλές κυλινδρικές γεωμετρίες και η σάρωσή τους δεν είχε νόημα. Επιπλέον το σχήμα και το μέγεθός τους δεν επέτρεπε την προσάρτηση στο πλαίσιο του

κατασκευαστή. Το βασικό σώμα τους σχεδιάστηκε στο Rhinoceros, με βάση τις φυσικές διαστάσεις του αντικειμένου, υιοθετώντας ένα μικτό σύστημα μοντελοποίησης το οποίο περιλάμβανε σάρωση και σχεδίαση για το ίδιο αντικείμενο. Τα δεδομένα της κάθε σάρωσης εισήχθησαν στο λογισμικό Rhinoceros και υποβλήθηκαν σε επεξεργασία, ώστε να διορθωθούν τα όποια σφάλματα της επιφάνειας που δημιουργούταν κάθε φορά. Το Rhinoceros προσέφερε αρκετά εργαλεία για την τελειοποίηση του πλέγματος με αποτέλεσμα την κατά το δυνατό μεγαλύτερη πιστότητα του μοντέλου που προέκυπτε με το πρωτότυπο αντικείμενο. Τέλος, δημιουργήθηκαν ρουτίνες για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας, οι οποίες βασίστηκαν στη γλώσσα προγραμματισμού Rhinoscript του Rhinoceros. Ο σκοπός της αυτοματοποίησης, όπου αυτή ήταν δυνατή, ήταν διττός. Αρχικά βοήθησε στην ελαχιστοποίηση του χρόνου επεξεργασίας των δεδομένων μέχρι τη δημιουργία του στερεού μοντέλου. Επιπλέον, επέτρεψε την ολοκλήρωση της διαδικασίας μοντελοποίησης από χρήστες που δεν ήταν εξοικειωμένοι με την χρήση του λογισμικού Rhinoceros, ενεργοποιώντας αυτόματα τις κατάλληλες εντολές και καθοδηγώντας τους μέσω κατάλληλων επεξηγήσεων και μηνυμάτων.

1. Το προς επίλυση πρόβλημα

Στη βιβλιογραφία ορίζεται ως ανάστροφη μηχανολογία (reverse engineering) η πρακτική κατά την οποία, μέσω μιας συγκεκριμένης διαδικασίας, δημιουργούνται αντίγραφα ενός υπάρχοντος αντικειμένου. Τα αντίγραφα του αντικειμένου δημιουργούνται για δυο βασικούς λόγους: είτε για αναπαραγωγή του ίδιου του αντικειμένου είτε για δημιουργία ανταλλακτικών αν πρόκειται για μηχανικό εξάρτημα.

Όταν δημιουργείται ένα μοντέλο από ανάστροφη μηχανολογία, ο στόχος είναι το μοντέλο αυτό να είναι κατά το δυνατό πιστό αντίγραφο του πρωτότυπου, ώστε να διατηρείται η ιδιόμορφη φύση του καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Αυτό θα μπορούσε να γίνει για ιστορική διατήρηση ή αποκατάσταση, για μαζική παραγωγή ενός μοναδικού αντικειμένου όπως για παράδειγμα ενός χαρακτηριστικού ξυλόγλυπτου είτε η μοντελοποίηση μιας κατεστραμμένης άρθρωσης στο γόνατο ώστε να δημιουργηθεί τεχνητό μέλος. Βασικός στόχος είναι η διατήρηση της λεπτομέρειας και της ακρίβειας του πρωτότυπου.

Δεν είναι λογικό ούτε ρεαλιστικό να θεωρηθεί ότι το αντίγραφο το οποίο θα προκύψει θα είναι πανομοιότυπο με το πρωτότυπο. Πάντα, είτε με προσεχτική επιθεώρηση είτε με αμοιβαία σύγκριση, θα είναι εμφανείς μικρές διαφορές εξαιτίας των διεργασιών καθώς και των αποφάσεων που ελήφθησαν από τον εκάστοτε χειριστή.

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι για να δημιουργηθούν πιστά αντίγραφα. Ο πρώτος είναι μέσω μιας διαδικασίας να κατασκευαστεί ένα καλούπι του πρωτότυπου και στη συνέχεια να δημιουργούνται αντίγραφα με βάση αυτό το καλούπι. Ο συγκεκριμένος τρόπος πραγματοποιείται κυρίως με τεχνίτες και χωρίς την παρέμβαση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Ο δεύτερος είναι να παρθούν φυσικές μετρήσεις μέσω μιας διαδικασίας σάρωσης και να δημιουργηθεί ένα CAD μοντέλο το οποίο στη συνέχεια θα μπορεί να υποβληθεί σε μηχανουργική κατεργασία ώστε να παραχθεί το αντίγραφο. Στο συγκεκριμένο σημείο, όμως, θα πρέπει να αναφερθεί πως αν το αντικείμενο έχει τέτοια μορφή που να επιτρέπει την απευθείας μέτρηση των διαστάσεων του, είναι πολύ πιο γρήγορο να μετρηθούν αυτές οι

διαστάσεις και να μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας κατευθείαν το κατάλληλο λογισμικό σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή. Σε περίπτωση όμως που το αντικείμενο διαθέτει ανάγλυφες επιφάνειες, είναι πάρα πολύ δύσκολο και χρονοβόρο να παρθούν απευθείας μετρήσεις. Αυτό είναι ένα παράδειγμα στο οποίο η σάρωση ελαττώνει το χρόνο δημιουργίας του αντίγραφου κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό και συγχρόνως διατηρεί τη λεπτομέρεια του πρωτότυπου με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Όταν χρησιμοποιείται σάρωση με δέσμη ακτινών laser, καλύτερα αποτελέσματα μπορούν να παρθούν από αντικείμενα τα οποία έχουν μη κατοπτρική ματ επιφάνεια. Κατοπτρικά ή ασαφή αντικείμενα δεν είναι και τόσο βολικά για σάρωση με δέσμη ακτινών laser. Επιπροσθέτως, λεπτομέρειες εξαλείφονται και από τη σάρωση αλλά και από τη μετέπειτα επεξεργασία στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ακμές και έντονες ρυτιδώσεις της επιφάνειας ομαλοποιούνται κατά την αναπαράσταση της επιφάνειας στον υπολογιστή.

2. Στόχοι της πτυχιακής εργασίας

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η γνώση της τεχνικής δημιουργίας στερεών αντικείμενων, απ'τη σάρωση μέχρι και την επεξεργασία σε ένα λογισμικό CAD, αποσκοπώντας σε διάφορες εφαρμογές όπως στη δημιουργία καλουπιών για την παραγωγή αντιγράφων και στη μελέτη αστοχίας μεταλλικών αντικειμένων.

2.1. Δημιουργία καλουπιού

Στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος του Εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ, έχει ζητηθεί να μελετηθεί η δυνατότητα δημιουργίας, μέσω αυτοματοποιημένης μεθόδου, καλουπιού ενός πρωτότυπου κεραμικού αντικειμένου ώστε να παραχθεί ακριβές αντίγραφο.

Μέχρι τώρα, η διαδικασία βασίζεται κυρίως στην ικανότητα τεχνιτών, οι οποίοι με όπλο την εμπειρία τους και μελετώντας, εξωνυχιστικά μεν οπτικά δε το αντικείμενο, προσπαθούν να το αναπαράγουν χειροποίητα, με όποιο αντίκτυπο μπορεί να έχει αυτό στην πιστότητα της αναπαράστασης του πρωτότυπου. Μέσο για την επίτευξη του τελικού στόχου αποτελούν τα CAD (Computer Aided Design) προγράμματα. Τμήμα της διαδικασίας, που αποτελεί και τον πρώτο στόχο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, είναι η δημιουργία

στερεού μοντέλου του προς αντιγραφή αντικειμένου σε ένα CAD πρόγραμμα. Το αντικείμενο θα σαρωθεί από ένα laser σαρωτή στο εργαστήριο, ώστε να απεικονιστεί η γεωμετρία στο CAD μέσω ενός νέφους σημείων που θα περιγράφουν πλήρως την επιφάνεια. Η συνέχεια περιλαμβάνει την επεξεργασία του νέφους των σημείων με τα εργαλεία που προσφέρει το πρόγραμμα μέχρι τη δημιουργία του στερεού αντικειμένου.

2.2. Μελέτη αστοχίας

Μελέτη αστοχίας γενικά ορίζεται ως η έρευνα και η ανάλυση εξαρτημάτων ή κατασκευών, οι οποίες έχουν αστοχήσει ή φαίνεται να έχουν αποτύχει να εκπληρώσουν το καθήκον τους. Ο στόχος είναι να διερευνηθεί το πώς και το γιατί το εξάρτημα ή η κατασκευή έχει αστοχήσει.

Οι αστοχίες των υλικών περιλαμβάνουν γεγονότα, των οποίων η ακολουθία πρέπει να κατανοηθεί ώστε να βγουν ασφαλή συμπεράσματα για τα αίτια της αστοχίας. Η χρήση διαφόρων λογισμικών σε υπολογιστές μπορεί να γίνει ένα πολύ ισχυρό εργαλείο το οποίο θα βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό στη συλλογή πληροφοριών που αφορούν στην αστοχία και θα μπορέσει άμεσα ή έμμεσα να δώσει απαντήσεις για τα αίτια της.

Η χρήση των υπολογιστών έχει βελτιώσει θεαματικά την ικανότητα να εκτελούνται περίπλοκοι υπολογισμοί σε μοντέλα γρήγορα και αποτελεσματικά. Επιπρόσθετα, είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί και ανάλυση ευαισθησίας του συστήματος, αλλάζοντας τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο, ώστε να αξιολογήσουμε την επίπτωση που έχουν αυτές οι μικρές ή μεγάλες αλλαγές στα δεδομένα εξόδου.

Υπάρχουν διάφορα πακέτα λογισμικών διαθέσιμα που εκτελούν ανάλυση μηχανικών θραύσεων. Το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει το μέγεθος προυπάρχοντων ρωγμών ή ελαττωμάτων, είτε να εφαρμόσει αριθμητικές μεθόδους για τον υπολογισμό των τάσεων σε διάφορα σημεία του αντικειμένου. Πολλά από τα πακέτα λογισμικών που είναι ικανά να πραγματοποιήσουν τις πιο πάνω διεργασίες, χρειάζονται ένα στερεό μοντέλο του φυσικού αντικειμένου. Ακριβώς σε αυτό το σημείο η ανάστροφη μηχανολογία τυγχάνει πλήρους εφαρμογής. Σαρώνοντας το αντικείμενο και δημιουργώντας ένα στερεό μοντέλο του στον υπολογιστή, μπορεί κανείς στη συνέχεια να εφαρμόσει πάνω στο μοντέλο ένα λογισμικό, όπως τα πεπερασμένα στοιχεία, το οποίο θα βοηθήσει στην εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων για τα αίτια της θραύσης.

3. Μεθοδολογία που ακολουθήθηκε

Επιδίωξη είναι η σάρωση αντικειμένων με διαφόρων ειδών γεωμετρίες ώστε να μελετηθούν τρόποι αντιμετώπισης των διαφορετικών τύπων προβλημάτων που θα προκύψουν ως αποτέλεσμα αυτής της ποικιλίας μορφών στη γεωμετρία. Επίσης σημαντικό ρόλο στον τρόπο και στη διαδικασία σάρωσης κατέχει και το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το προς σάρωση αντικείμενο. Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία των δεδομένων της σάρωσης σε λογισμικό CAD. Πιο συγκεκριμένα θα σαρωθούν τα παρακάτω αντικείμενα:

α) Κεφαλή αλόγου: Σαν πρώτο αντικείμενο από κεραμικό υλικό, επιλέχθηκε μια προτομή αλόγου. Η γεωμετρία του συγκεκριμένου αντικειμένου δεν παρουσιάζει καμία συμμετρία, ούτε περιέχει επίπεδες επιφάνειες. Πρόκειται για αντικείμενο αποκλειστικά ανάγλυφης επιφάνειας και επομένως απαιτείται η εξ'ολοκλήρου σάρωση του αντικειμένου, ώστε να αποτυπωθεί το σύνολο των λεπτομερειών. Μέσο για την επίτευξη της σάρωσης αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο προσφέρει ο κατασκευαστής του laser σαρωτή. Πρόκειται για ένα πλαίσιο το οποίο μπορεί μέσω μηχανισμού να περιστρέφεται γύρω από τους τρεις κύριους άξονες. Σε αυτό το πλαίσιο προσαρτάται το αντικείμενο κα με την κατάλληλη περιστροφή σαρώνονται οι διαφορετικές περιοχές του. Έτσι το αντικείμενο αποτυπώνεται υπό τη μορφή νέφους σημείων. Στη συνέχεια αυτό το νέφος εισάγεται στο κατάλληλο λογισμικό και κατόπιν συγκεκριμένης επεξεργασίας, η οποία θα περιγραφεί αναλυτικά, δημιουργείται το στερεό μοντέλο.

β) Διάφορα προσωπεία: Το δεύτερο είδος κεραμικών αποτελείται από μια σειρά αντικειμένων αρκετά διαφορετικών από το προηγούμενο. Τα συγκεκριμένα αντικείμενα είναι αρκετά μεγαλύτερα, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η προσάρτησή τους στο πλαίσιο. Παρουσιάζουν όμως την εξής ευκολία: είναι προσωπεία με διάφορες μορφές με όλη τη γεωμετρία και τη λεπτομέρεια αποτυπωμένη στο εμπρόσθιο τμήμα και με επίπεδο πίσω τμήμα. Επομένως δεν είναι απαραίτητη η σάρωση του τελευταίου. Το προσωπείο τοποθετείται με την κάτω επίπεδη επιφάνειά του επάνω στην κινούμενη πλάκα του laser σαρωτή και σαρώνεται χωρίς να χρειάζεται μετακίνηση ή περιστροφή. Η συνέχεια είναι παρόμοια, με το νέφος σημείων να εισάγεται στο λογισμικό για τη δημιουργία του στερεού μοντέλου.

γ) Αγαλματίδιο αρχαίου κούρου: Τελευταία περίπτωση σάρωσης κεραμικού αντικειμένου αποτελεί η σάρωση ενός αγαλματιδίου με τη μορφή αρχαίου κούρου. Κατά τη σάρωση του συγκεκριμένου κεραμικού αντιμετωπίστηκαν διάφορων ειδών προβλήματα. Κατά πρώτον, το αγαλματίδιο είναι τρισδιάστατο χωρίς καμία συμμετρία. Συνεπώς ένας πιθανός τρόπος σάρωσης θα μπορούσε να είναι το περιστρεφόμενο πλαίσιο που προσφέρει ο κατασκευαστής. Το μέγεθός και η γεωμετρία, όμως, του αγαλματιδίου δεν επιτρέπει τη χρήση του. Ένα δεύτερο και απλούστερο τρόπο σάρωσης θα μπορούσε να αποτελέσει η τοποθέτηση του αγαλματιδίου στο κέντρο της κινούμενης πλάκας, (δεδομένου ότι το αγαλματίδιο διαθέτει επίπεδη βάση), και η εξολοκλήρου σάρωσή του από την περιστρεφόμενη κεφαλή. Περιστρέφοντας, δηλαδή, την κεφαλή γύρω από το αγαλματίδιο θα μπορούσε να είναι εφικτή η σάρωση όλων των επιφανειών του αγαλματιδίου. Και πάλι, όμως, η κατά το ύψος κίνηση της κεφαλής δεν καλύπτει το ύψος του αγαλματιδίου με αποτέλεσμα την απόρριψη και του συγκεκριμένου τρόπου.

Έχει γίνει σαφές πως με τα υπάρχοντα δεδομένα δεν είναι δυνατή η σάρωση του αγαλματιδίου. Οπότε είναι υποχρεωτική η εύρεση κάποιου εναλλακτικού τρόπου για να πραγματοποιηθεί. Ο τρόπος λειτουργίας του laser σαρωτή δεν επιτρέπει την κατά βούληση μετακίνηση του αγαλματιδίου επάνω στην πλάκα της μηχανής, σε θέσεις που θα επέτρεπαν σάρωση διαφορετικού τμήματος της επιφάνειας κάθε φορά, μέχρι τη σάρωση της συνολικής επιφάνειας, χωρίς την ύπαρξη ενός σταθερού συστήματος αναφοράς. Τον ρόλο αυτό κατέχει το πλαίσιο που προσφέρει ο κατασκευαστής, το οποίο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί. Για την περίπτωση του αγαλματιδίου επετεύχθη η δημιουργία ενός εικονικού συστήματος αναφοράς, το οποίο επέτρεψε τη μετακίνηση του αγαλματιδίου σε οποιοδήποτε σημείο της κινούμενης πλάκας ώστε να διευκολυνθεί η σάρωση. Στο συγκεκριμένο σημείο θα πρέπει να τονιστεί πως κατά τη μετακίνηση του αγαλματιδίου προκύπτουν διαφορετικά νέφη σημείων. Με τη βοήθεια του εικονικού συστήματος αναφοράς είναι δυνατή στη συνέχεια η σύνθεση των νεφών. Η μεθοδολογία και η διαδικασία της σάρωσης θα περιγραφεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο. Κατά τα γνωστά, το νέφος σημείων εισάγεται σε λογισμικό CAD και κατόπιν επεξεργασίας προκύπτει το στερεό μοντέλο.

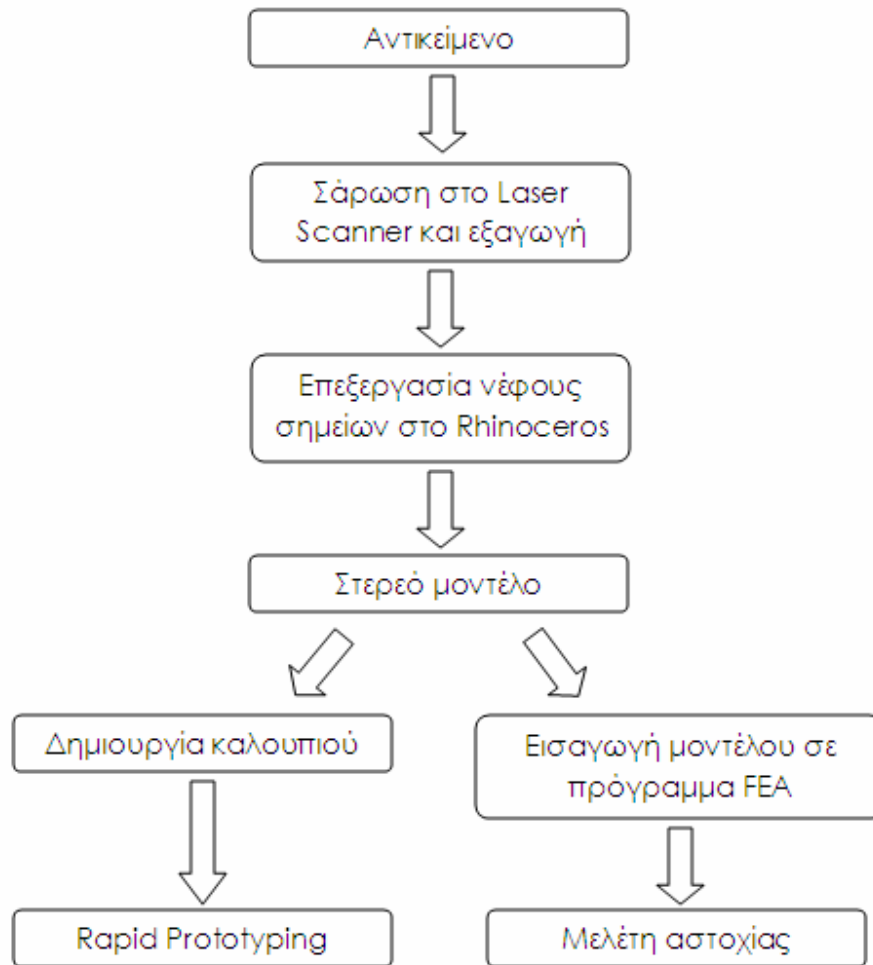
δ) Μεταλλικός κοχλίας και στροφαλοφόρος άξονας: Τέλος, σαρώθηκαν και δύο μεταλλικά εξαρτήματα του Εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας στα οποία είχε επέλθει αστοχία. Τα εξαρτήματα αυτά είναι ένας κοχλίας στήριξης σφονδύλου από μια μηχανή πλοίου καθώς επίσης και τμήμα του στροφαλοφόρου άξονα ενός τζιπ. Η σάρωση επικεντρώνεται

στις περιοχές της θραύσης. Το υπόλοιπο εξάρτημα σχεδιάζεται στο λογισμικό μετρώντας τις φυσικές του διαστάσεις. Έτσι επιτυγχάνεται ένας εναλλακτικός, μεικτός τρόπος μοντελοποίησης αντικειμένων, ο οποίος περιλαμβάνει σάρωση και σχεδίαση για το ίδιο αντικείμενο. Η μέθοδος με το εικονικό σύστημα αναφοράς ήταν επίσης αδύνατο να χρησιμοποιηθεί, καθώς, όπως θα γίνει σαφές σε επόμενα κεφάλαια, επιτρέπει μόνο τη μετακίνηση του αντικειμένου και όχι την περιστροφή, η οποία είναι απαραίτητη για τη σάρωση των κυλινδρικών επιφανειών των εξαρτημάτων.

Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί πως η ακριβής σύνθεση του πλέγματος που προκύπτει από τη σάρωση της επιφάνειας θραύσης με τις επιφάνειες που θα σχεδιασθούν στο λογισμικό CAD, δεν είναι εφικτή με τα εργαλεία του συγκεκριμένου λογισμικού, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα ένα μικρό αντίκτυπο στην πιστότητα του στερεού μοντέλου.

Τέλος, μετά το πέρας της δημιουργίας των στερεών μοντέλων, διερευνήθηκε η δυνατότητα δημιουργίας ρουτινών αυτοματοποίησης. Οι λόγοι είναι ευνόητοι, καθώς μια αυτοματοποιημένη διαδικασία θα διευκόλυνε κατά πολύ τη δημιουργία του στερεού μοντέλου από το νέφος σημείων, ελαχιστοποιώντας το χρόνο της όλης διαδικασίας. Ο βασικός, όμως, στόχος των ρουτινών αυτοματοποίησης είναι η δημιουργία μιας διεπιφάνειας μεταξύ του λογισμικού και χρήστη. Μέσω αυτής θα είναι δυνατή η δημιουργία του στερεού μοντέλου από οποιοδήποτε χρήστη, χωρίς να είναι απαραίτητη η γνώση χειρισμού του λογισμικού.

Όλα τα παραπάνω είναι εμφανή στο ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 1: διάγραμμα ροής

4. Περιγραφή κεφαλαίων

Στο συγκεκριμένο σημείο πραγματοποιείται μια συνοπτική περιγραφή των κεφαλαίων που ακολουθούν. Η παρουσίαση της εργασίας ξεκινάει με μια περίληψη της όλης διαδικασίας τόσο στα ελληνικά όσο και στα αγγλικά. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί το θεωρητικό μέρος. Πραγματοποιείται έρευνα σε τρία διαφορετικά πεδία, τα οποία αναλύονται σε τρεις παραγράφους. Στην πρώτη παράγραφο παρουσιάζονται διάφορες μέθοδοι σάρωσης επιφανειών. Η έρευνα επικεντρώνεται στα είδη των σαρωτών που υπάρχουν, στις βασικές αρχές λειτουργίας τους και στην τεχνολογία στην οποία στηρίζονται, καθώς επίσης και στο

είδος των προς σάρωση επιφανειών στο οποίο απευθύνονται, ενώ σχολιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του καθενός σαρωτή. Στη δεύτερη παράγραφο, παρουσιάζονται και σχολιάζονται οι βασικοί τύποι αρχείων αναπαράστασης στερεών αντικειμένων και επιφανειών. Οι βασικοί τύποι αρχείων που αναλύονται είναι το Parasolid format, το Iges format, το Acis sat format και το STL format και περιγράφεται ο τύπος των δεδομένων καθώς και ο τρόπος που αυτά αποθηκεύονται ανάλογα με τον τύπο που χρησιμοποιείται. Τέλος, στην τρίτη παράγραφο γίνεται μια ανασκόπηση στη διεθνή βιβλιογραφία και παρουσιάζονται διάφορες ερευνητικές εργασίες που ασχολούνται με το θέμα της σάρωσης επιφανειών. Η έρευνα κινείται σε όλα τα επίπεδα, δηλαδή γίνεται αναφορά σε νέους τύπους σαρωτών, στο πού αποσκοπεί η δημιουργία τους και σε ποια προβλήματα της ανάστροφης μηχανολογίας δίνονται λύσεις. Επίσης, παρουσιάζονται έρευνες πάνω στην επεξεργασία των πλεγμάτων, ώστε το μοντέλο που προκύπτει να είναι κατά το δυνατό ακριβέστερο αντίγραφο του πρωτοτύπου, καθώς και μελέτες που αφορούν στη σύνθεση των νεφών από διαφορετικές σαρώσεις, ώστε να αναγνωρίζονται οι μεταβολές της γεωμετρίας και να προσδιορίζεται σωστά ο προσανατολισμός του κάθε νέφους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πειραματικό μέρος της διπλωματικής εργασίας. Στην πρώτη παράγραφο, γίνεται αναλυτική περιγραφή του οπτικού laser σαρωτή του εργαστηρίου, με τον οποίο σαρώθηκαν τα κεραμικά και μεταλλικά αντικείμενα. Παρουσιάζονται όλα τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται, ενώ γίνεται επίσης αναφορά στο λογισμικό που ελέγχει το σαρωτή και σε βασικές έννοιες, όπως είναι η ανάλυση της σάρωσης και τα νέφη σημείων, καθώς και τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να σαρώσει τις επιφάνειες ανάλογα με το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένες και τις λεπτομέρειες που είναι να αποτυπωθούν. Στη δεύτερη παράγραφο, παρουσιάζεται το λογισμικό Rhinoceros με το οποίο γίνεται η επεξεργασία του πλέγματος, μέχρι τη δημιουργία του στερεού μοντέλου. Αναλύονται όλες οι απαραίτητες εντολές και δίνεται έμφαση στον τρόπο χρήσης τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται όλη η διαδικασία από τη σάρωση μέχρι την εισαγωγή του αρχείου δεδομένων του σαρωτή στο λογισμικό Rhinoceros και τη δημιουργία του στερεού μοντέλου, βήμα-βήμα κι ανά τεμάχιο. Παρουσιάζονται πέντε από τα αντικείμενα που σαρώθηκαν. Τα αντικείμενα αυτά αποτελούν πέντε διαφορετικές περιπτώσεις σάρωσης, στις οποίες φαίνονται πολλές από τις δυνατότητες του σαρωτή. Από τα πέντε αντικείμενα, τα τρία είναι κεραμικά και τα δύο μεταλλικά. Το πρώτο κεραμικό είναι ένα προσωπείο το οποίο απλά τοποθετείται πάνω στο τραπέζι του σαρωτή και σαρώνεται χωρίς μετακίνηση ή περιστροφή. Το επόμενο κεραμικό είναι μια προτομή αλόγου, η οποία προσαρτάται στο πλαίσιο που

προσφέρει ο κατασκευαστής ώστε να δύναται να περιστρέφεται μέχρι τη σάρωση όλων των επιφανειών της. Το τελευταίο κεραμικό είναι ένα αγαλματίδιο με τη μορφή αρχαίου κούρου, για το οποίο χρησιμοποιείται μια εναλλακτική μέθοδος σάρωσης, με τη δημιουργία ενός τεχνητού συστήματος αναφοράς, καθώς το μέγεθός του επιβάλλει κάτι τέτοιο. Τέλος, τα μεταλλικά αντικείμενα τοποθετούνται πάνω στο τραπέζι της μηχανής και σαρώνεται η επιφάνεια θραύσης τους, ενώ το βασικό σώμα σχεδιάζεται στο λογισμικό. Στη συνέχεια τα δεδομένα εισάγονται στο Rhinoceros και αναλύεται η διαδικασία δημιουργίας του στερεού μοντέλου. Η ανάλυση είναι πλήρης, με επεξηγήσεις και φωτογραφίες, ενώ περιγράφονται όλα τα προβλήματα που προκύπτουν και πώς ξεπερνιούνται, ενώ γίνεται αναφορά σε όλες τις εντολές που αναλύθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Στη συνέχεια περιγράφονται οι ρουτίνες του RhinoScript που χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση τη διαδικασίας και πώς εφαρμόζονται αυτές στα παραπάνω αντικείμενα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αξιολογούνται όσα έχουν προηγηθεί, καθώς επίσης και οι λύσεις που δίνονται σε διάφορα προβλήματα που προκύπτουν, ενώ συγχρόνως προτείνονται μεθοδολογίες επίλυσης των προβλημάτων που δεν ήταν δυνατόν να ξεπεραστούν με τα διαθέσιμα εργαλεία, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα βιβλία και οι πηγές (βιβλιογραφικές αναφορές) που αναφέρονται στο κεφάλαιο του θεωρητικού μέρους στην παράγραφο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

Ακολουθούν δύο παραρτήματα, από τα οποία στο πρώτο παρουσιάζονται φωτογραφίες των υπόλοιπων αντικειμένων που σαρώθηκαν καθώς και εικόνες του στερεού μοντέλου που προκύπτει μετά την επεξεργασία τους στο Rhinoceros, και στο δεύτερο παρουσιάζονται αναλυτικά οι ρουτίνες του RhinoScript που χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας.

I. Θεωρητικό μέρος

I.1 Μέθοδοι σάρωσης επιφανειών

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη σάρωση επιφανειών. Τα τελευταία χρόνια έχει πραγματοποιηθεί μεγάλη εξέλιξη στον τομέα των τρισδιάστατων σαρωτών, με τη δημιουργία διαφόρων τύπων, με τον κάθε έναν από αυτούς να προορίζεται για διαφορετικές περιπτώσεις, με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Αυτή η ποικιλία των σαρωτών, παρέχει τη δυνατότητα επιλογής του βέλτιστου, ανάλογα με το είδος της προς σάρωση επιφάνειας

I.1.1 Τρισδιάστατος σαρωτής

Ένας τρισδιάστατος σαρωτής είναι μία συσκευή η οποία αναλύει ένα πραγματικό αντικείμενο ώστε να συλλέξει στοιχεία για το σχήμα του και αν είναι δυνατό για την εμφάνισή του (π.χ. το χρώμα του). Τα στοιχεία τα οποία συλλέγονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή ψηφιακών, τρισδιάστατων μοντέλων τα οποία είναι χρήσιμα σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην ανάστροφη μηχανολογία και προτυποποίηση. Άλλες εφαρμογές της συγκεκριμένης τεχνολογίας περιλαμβάνουν τη βιομηχανία θεάματος στην παραγωγή ταινιών και βιντεοπαιχνιδιών, το βιομηχανικό σχέδιο, καθώς επίσης και την εποπτεία και καταγραφή αρχαιολογικών αντικειμένων. Πολλές διαφορετικές τεχνολογίες υιοθετούνται για την κατασκευή τρισδιάστατων συσκευών σάρωσης, με κάθε τεχνολογία να έχει τη δική της φιλοσοφία, τα δικά της όρια και τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στα διάφορα πεδία εφαρμογών και φυσικά στο κόστος κτήσης και λειτουργίας. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί ότι υπάρχουν όρια και στο είδος των αντικειμένων που μπορούν να σαρωθούν και να ψηφιοποιηθούν: για παράδειγμα, τεχνολογίες με οπτικές μεθόδους συναντούν μεγάλες δυσκολίες σε περιπτώσεις γυαλιστερών, κατοπτρικών ή διάφανων αντικειμένων.

Εν τούτοις, υπάρχουν μέθοδοι για τη σάρωση γυαλιστερών επιφανειών, οι οποίες παρακάμπτον το πρόβλημα, μέσω κάλυψης της επιφάνειας με ένα λεπτό στρώμα από λευκή σκόνη η οποία βοηθά στην ανάκλαση του φωτός πίσω στο σαρωτή. Οι σαρωτές laser στέλνουν μια δέσμη φωτός προς το αντικείμενο, για να δεχθούν πίσω μόνο ένα ποσοστό από αυτό μέσω της οπτικής τεχνολογίας που διαθέτουν. Η ανάκλαση ενός αντικειμένου βασίζεται στο χρώμα του και κυρίως στο υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο. Μία λευκή επιφάνεια θα

ανακλάσει μεγάλη ποσότητα φωτός σε αντίθεση με μια μαύρη επιφάνεια η οποία θα ανακλάσει μόνο ένα μικρό ποσοστό. Διάφανα αντικείμενα, όπως το γυαλί, θα προκαλέσουν κυρίως διάθλαση του φωτός και θα παράγουν λανθασμένες τρισδιάστατες πληροφορίες.

I.1.1.1 Λειτουργίες Σαρωτών

Ο σκοπός ενός τρισδιάστατου σαρωτή είναι, συνήθως, να δημιουργήσει ένα νέφος σημείων από διάφορες περιοχές της επιφάνειας του αντικειμένου. Αυτά τα σημεία μπορούν έπειτα να χρησιμοποιηθούν για να προσεγγιστεί το σχήμα του αντικειμένου, μέσω μιας διαδικασίας η οποία ονομάζεται ανακατασκευή. Αν συλλέγονται επίσης πληροφορίες για το χρώμα του αντικειμένου σε κάθε σημείο, τότε μπορούν επίσης να προσδιοριστούν και τα χρώματα στην επιφάνεια του αντικειμένου κατά την ανακατασκευή.

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές είναι παρεμφερείς με τις κάμερες. Διαθέτουν ένα οπτικό πεδίο σε σχήμα κώνου και μπορούν να συλλέγουν πληροφορίες για επιφάνειες οι οποίες είναι διαφανείς. Όπως οι κάμερες συλλέγουν χρωματικές πληροφορίες για τις επιφάνειες στο οπτικό τους πεδίο, έτσι και οι τρισδιάστατοι σαρωτές συλλέγουν πληροφορίες για την απόσταση των διαφόρων σημείων των επιφανειών στο δικό τους οπτικό πεδίο. Η “εικόνα” που παράγεται από ένα τρισδιάστατο σαρωτή περιγράφει την απόσταση κάθε σημείου αυτής της εικόνας από την πηγή του. Εάν έχει οριστεί ένα σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων, με σημείο μηδέν τον σαρωτή και γωνίες $\varphi=0$ και $\theta=0$ τον άξονα εκπομπής της πηγής του, τότε κάθε σημείο στην εικόνα αντιστοιχεί σε ένα φ και θ . Τα φ και θ μαζί με την απόσταση, η οποία αντιστοιχεί στην παράμετρο r των σφαιρικών συντεταγμένων, μπορούν να περιγράψουν πλήρως τη θέση του κάθε σημείου του αντικειμένου και στις τρεις διαστάσεις, σε ένα σχετικό σύστημα συντεταγμένων, το οποίο ορίζεται από το σαρωτή.

Στις περισσότερες περιπτώσεις μία και μοναδική σάρωση δεν είναι αρκετή για την παραγωγή ενός ολοκληρωμένου μοντέλου του αντικειμένου. Πολλαπλές σαρώσεις από διάφορες διευθύνσεις είναι συνήθως απαραίτητες για τη λήψη πληροφοριών που αφορούν σε όλες τις πλευρές του αντικειμένου. Όλες οι σαρώσεις πρέπει να αναχθούν σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς, μια διαδικασία η οποία συνήθως ονομάζεται ευθυγράμμιση ή ταξινόμηση, και στη συνέχεια συνθέτονται ώστε να δημιουργήσουν ένα ολοκληρωμένο μοντέλο.

1.1.1.2. Τεχνολογία Σαρωτών

Οι δύο τύποι τρισδιάστατων σαρωτών είναι οι επαφής και οι μη επαφής. Οι μη επαφής τρισδιάστατοι σαρωτές μπορούν περαιτέρω να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες, τους ενεργούς σαρωτές και τους παθητικούς σαρωτές. Υπάρχει μια ποικιλία τεχνολογιών που αντιστοιχεί σε κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες.

1.1.1.2.α Σαρωτές Επαφής

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές επαφής, ψηλαφίζουν το αντικείμενο μέσω φυσικής επαφής. Οι Μηχανές Μέτρησης Συντεταγμένων (CMM, Coordinate Measuring Machine) αποτελούν την πιο κλασική μορφή τρισδιάστατου σαρωτή επαφής.

Μια Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων είναι μια NC μηχανή, η οποία συνήθως κινεί έναν αισθητήρα για τη λήψη των συντεταγμένων των σημείων μιας επιφάνειας με ακρίβεια η οποία πολλές φορές φτάνει τις 0,25 nm. Η μηχανή χρησιμοποιεί ένα τρισσορθογώνιο X-Y-Z σύστημα ώστε να προσδιορίζει τη θέση κάθε σημείου του χώρου εργασίας της. Ο αισθητήρας έρχεται σε επαφή με διάφορα σημεία του υπό σάρωση αντικειμένου και στη συνέχεια η μηχανή χρησιμοποιεί τις X-Y-Z συντεταγμένες των σημείων για να προσδιορίσει το μέγεθος και τη θέση του αντικειμένου.

Στην αρχή οι αισθητήρες των CMM εφαρμόζονταν σε μια ειδική υποδοχή στην άκρη μιας ειδικής γραφίδας. Ένας πολύ συνηθισμένος αισθητήρας κατασκευαζόταν με τη συγκόλληση μιας σκληρής σφαίρας στο άκρο ενός άξονα. Αυτή η κατασκευή ήταν ιδανική για τη μέτρηση μιας μεγάλης γκάμας επίπεδων, κυλινδρικών ή σφαιρικών επιφανειών. Άλλοι αισθητήρες είχαν διάφορα σχήματα ώστε να παίρνουν μετρήσεις σε επιφάνειες με πολύ ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Αυτοί οι αισθητήρες στηρίζονταν στην κυριολεξία επάνω στο αντικείμενο, με τη θέση τους στο χώρο να λαμβάνεται από ένα τριαξονικό σύστημα εξαγωγής ψηφιακών δεδομένων (3-axis digital readout ή DRO) ή κατέγραφαν τα ψηφιακά δεδομένα σε έναν H/Y μέσω διακόπτη-πεντάλ ή αντίστοιχης συσκευής ενεργοποίησης σε πιο εξελιγμένα συστήματα. Οι μετρήσεις οι οποίες λαμβάνονταν με τη συγκεκριμένη μέθοδο επαφής, ήταν συνήθως αναξιόπιστες, καθώς οι μηχανές μετακινούνταν με το χέρι και ο κάθε χειριστής εφαρμόζε διαφορετική πίεση στον αισθητήρα ή υιοθετούσε διαφορετικές τεχνικές για τη μέτρηση.

Μία περαιτέρω εξέλιξη είναι η πρόσθεση σερβοκινητήρων για την κίνηση κάθε άξονα. Οι χειριστές δεν χρειάζεται πλέον να μετακινούν χειροκίνητα τον αισθητήρα, αλλά μπορούσαν να κινούν κάθε άξονα χρησιμοποιώντας χειριστήρια. Η ακρίβεια και η σαφήνεια των μετρήσεων υπέστησαν δραστική βελτίωση με τη δημιουργία των ηλεκτρονικών αισθητήρων αφής. Παρόλο που παραμένει σαρωτής επαφής, ο αισθητήρας διαθέτει στυλίσκο με χαλύβδινη σφαίρα στο άκρο του, ο οποίος έχει σύστημα επαναφοράς με ελατήριο. Καθώς ο αισθητήρας έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του αντικειμένου, ο στυλίσκος εκτρέπεται και συγχρόνως στέλνει τις X, Y, Z συντεταγμένες στον υπολογιστή. Τα σφάλματα τα οποία προκαλούνταν από τους χειριστές μειώθηκαν στο ελάχιστο, η ακρίβεια αυξήθηκε και τέθηκαν οι βάσεις για την περαιτέρω εκμετάλλευση των ψηφιακών μοντέλων.

Τέλος υπάρχουν νεότερα μοντέλα τα οποία έχουν αισθητήρες που σύρονται κατά μήκος της επιφάνειας των αντικειμένων, λαμβάνοντας σημεία σε προκαθορισμένα διαστήματα. Η συγκεκριμένη CMM μέθοδος είναι ακριβέστερη από τις συνηθισμένες μεθόδους επαφής και τις περισσότερες φορές πολύ πιο γρήγορη.

Παρ'όλη την εξέλιξη, τα μειονεκτήματα των CMM μεθόδων παραμένουν, καθώς απαιτούν την επαφή με το υπό σάρωση αντικείμενο. Αυτό έχει πολλές φορές ως αποτέλεσμα τη μετατροπή ή καταστροφή του αντικειμένου από την ίδια την πράξη της σάρωσης. Αυτός ο παράγοντας είναι πολύ σημαντικός στην περίπτωση που σαρώνονται πολύτιμα ή ευαίσθητα αντικείμενα, όπως είναι τα ιστορικά κειμήλια. Ένα ακόμα μειονέκτημα των μεθόδων επαφής είναι ότι παραμένουν αργές σε σύγκριση με άλλες μεθόδους σάρωσης. Πρακτικά, η κίνηση του άξονα πάνω στον οποίο είναι εφαρμοσμένος ο αισθητήρας είναι πολύ αργή, με τους πιο γρήγορους CMM σαρωτές να μπορούν να λειτουργούν με συχνότητα μόνο κάποιων εκατοντάδων Hz, όταν, σε αντίθεση, ένα οπτικό σύστημα μπορεί να λειτουργήσει σε συχνότητες από 10 – 500 kHz.

I.1.1.2.β. Ενεργοί, μη επαφής, σαρωτές

Οι ενεργοί σαρωτές εκπέμπουν κάποιο είδος ακτινοβολίας ή φωτός και ανιχνεύουν την αντανάκλασή του προκειμένου να σαρώσουν το αντικείμενο. Πιθανοί τύποι χρησιμοποιούμενων εκπομπών περιλαμβάνουν το ορατό φως, τον υπέρηχο ή τις ακτίνες-x.

- Σαρωτές μέτρησης του χρόνου ανάκλασης

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές που μετρούν το χρόνο ανάκλασης είναι ενεργοί σαρωτές οι οποίοι χρησιμοποιούν ακτίνες laser για να σαρώσουν το αντικείμενο. Το κυριότερο εξάρτημα αυτού του τύπου σαρωτή είναι ένας laser μετρητής απόστασης με βάση το χρόνο ανάκλασης. Αυτός βρίσκει την απόσταση μιας επιφάνειας μετρώντας τον μετ'επιστροφής χρόνο ενός ανακλώμενου παλμού φωτός. Από τη στιγμή που η ταχύτητα φωτός c είναι γνωστή, ο μετ'επιστροφής χρόνος ορίζει την απόσταση που έχει διανύσει το φως από την πηγή στην επιφάνεια και από εκεί πίσω στον μετρητή. Εάν είναι t ο χρόνος μετ'επιστροφής, η απόσταση ισούται με $(c \cdot t) / 2$. Είναι προφανές ότι η ακρίβεια ενός τέτοιου τρισδιάστατου laser σαρωτή εξαρτάται από την ακρίβεια με την οποία είναι εφικτή η μέτρηση του χρόνου t . Ο χρόνος που χρειάζεται το φως για να διανύσει απόσταση ενός χιλιοστού είναι περίπου 3.3 ps.

Ο σαρωτής αυτός ανιχνεύει την απόσταση ενός σημείου μόνο κατά τη διεύθυνση εκπομπής. Επομένως, η σάρωση ολόκληρης της επιφάνειας απαιτεί την εκτροπή της δέσμης laser για τη σάρωση του κάθε σημείου. Η εκτροπή του μετρητή απόστασης πραγματοποιείται είτε περιστρέφοντας τον ίδιο, είτε χρησιμοποιώντας ένα σύστημα περιστρεφόμενων κατόπτρων. Η τελευταία μέθοδος είναι και η συνηθέστερη, καθώς τα κάτοπτρα μπορούν να περιστραφούν με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια και πολύ πιο γρήγορα, εξαιτίας του μικρού τους βάρους.

- Σαρωτές Τριγωνοποίησης

Ο τρισδιάστατος laser σαρωτής τριγωνοποίησης είναι επίσης ένας ενεργός σαρωτής ο οποίος χρησιμοποιεί δέσμες ακτίνων laser για να σαρώσει ένα αντικείμενο. Σε σχέση με τους τρισδιάστατους σαρωτές μέτρησης του χρόνου ανάκλασης, ο τρισδιάστατος laser σαρωτής

τριγωνοποίησης εστιάζει μια ακτίνα laser στο αντικείμενο και αξιοποιεί μια κάμερα για να εντοπίσει τη θέση στην οποία βρίσκεται το ίχνος του laser. Η συγκεκριμένη μέθοδος ονομάζεται τριγωνοποίηση, επειδή το ίχνος του laser, η κάμερα και η μηχανή εκπομπής της ακτίνας laser σχηματίζουν ένα τρίγωνο. Το μήκος της μιας πλευράς του τριγώνου, δηλαδή η απόσταση της κάμερας από την πηγή της ακτίνας laser είναι γνωστή. Η γωνία της πηγής της ακτίνας laser είναι επίσης γνωστή. Η γωνία της κάμερας ορίζεται μέσω της ανίχνευσης του ίχνους του laser από αυτήν. Επιλύοντας το τρίγωνο, ο σαρωτής υπολογίζει τις συντεταγμένες του ίχνους του laser πάνω στο αντικείμενο. Σε πολλές περιπτώσεις εκπέμπεται μία δέσμη ακτίνων αντί για μία μοναδική ακτίνα, ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία.

- Σχόλια πάνω στους σαρωτές μέτρησης χρόνου ανάκλασης και τριγωνοποίησης

Οι σαρωτές μέτρησης του χρόνου ανάκλασης και οι σαρωτές τριγωνοποίησης έχουν ο καθένας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους, τα οποία τους καθιστούν κατάλληλους σε διαφορετικές περιπτώσεις. Το πλεονέκτημα των σαρωτών μέτρησης του χρόνου ανάκλασης είναι η δυνατότητα λειτουργίας τους από μεγάλες αποστάσεις, της τάξεως χιλιομέτρων. Αυτοί λοιπόν οι σαρωτές είναι κατάλληλοι για τη σάρωση μεγάλων κατασκευών όπως είναι τα κτίρια ή διάφορα γεωγραφικά χαρακτηριστικά. Το μειονέκτημά τους είναι η ακρίβεια. Εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας του φωτός, η μέτρηση του μετ'επιστροφής χρόνου του φωτός είναι δύσκολη και η ακρίβεια των μετρήσεων είναι σχετικά μικρή της τάξεως μερικών χιλιοστών. Οι σαρωτές τριγωνοποίησης είναι ακριβώς το αντίθετο. Μπορούν να λειτουργήσουν μόνο από κοντινή απόσταση αλλά η ακρίβειά τους είναι πολύ μεγάλη, της τάξεως μερικών μικρομέτρων.

Με τους σαρωτές μέτρησης του χρόνου ανάκλασης, η ακρίβεια μπορεί να χαθεί όταν το laser χτυπήσει στην ακμή ενός αντικειμένου, επειδή η πληροφορία η οποία στέλνεται πίσω, έρχεται από δύο διαφορετικές διευθύνσεις για ένα παλμό laser. Η σχετική συντεταγμένη για τη θέση ενός σημείου το οποίο έχει χτυπήσει στην ακμή ενός αντικειμένου θα υπολογιστεί με βάση το μέσο όρο, με αποτέλεσμα να τοποθετηθεί το σημείο σε σχετικά λάθος θέση. Όταν πραγματοποιείται υψηλής ανάλυσης σάρωση, οι πιθανότητες της ακτίνας να χτυπήσει σε μια ακμή αυξάνονται και τα αποτελέσματα θα εμφανίζουν θόρυβο ακριβώς πίσω από τις ακμές του αντικειμένου. Σαρωτές με μικρότερο πλάτος της δέσμης θα μπορούσαν να βοηθήσουν να λυθεί το πρόβλημα. Διάφορα λογισμικά θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν, τα οποία

ορίζουν ότι το πρώτο σημείο της ακμής που θα σαρωθεί από την ακτίνα laser θα ακυρώσει τα επόμενα.

Με ένα ρυθμό λήψης 10.000 σημείων το δευτερόλεπτο, σαρώσεις χαμηλής ανάλυσης διαρκούν λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο, όμως σαρώσεις υψηλής ανάλυσης μπορούν να διαρκέσουν μέχρι και μερικά λεπτά για κάποιους σαρωτές μέτρησης του χρόνου ανάκλασης. Το πρόβλημα που δημιουργείται είναι η παραποίηση των δεδομένων εξαιτίας της αστάθειας του αντικειμένου ή του σαρωτή. Από τη στιγμή που κάθε σημείο δειγματοληπτείται σε διαφορετική χρονική στιγμή, κάθε ανεπιθύμητη κίνηση του αντικειμένου ή του σαρωτή θα παραποιήσει τα συλλεγόμενα δεδομένα. Γι'αυτό και είναι συνήθως απαραίτητο να τοποθετούνται το αντικείμενο και ο σαρωτής σε σταθερές πλατφόρμες, οι οποίες θα ελαχιστοποιούν τις δονήσεις.

- Σαρωτές δομημένου φωτός

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές δομημένου φωτός προβάλλουν ένα μοτίβο φωτός πάνω στο αντικείμενο και παρατηρούν την παραμόρφωσή του πάνω στο αντικείμενο. Το μοτίβο μπορεί να είναι μονοδιάστατο ή διδιάστατο. Ένα παράδειγμα μονοδιάστατου μοτίβου είναι μια γραμμή. Η γραμμή προβάλλεται στο αντικείμενο χρησιμοποιώντας ένα LCD μηχάνημα προβολής (projector). Μια κάμερα εξετάζει το σχήμα της γραμμής και χρησιμοποιώντας μια τεχνική όμοια με την τριγωνοποίηση υπολογίζει την απόσταση κάθε σημείου της γραμμής. Στην περίπτωση αυτή, η γραμμή μετακινείται για να καλύψει όλη την επιφάνεια του αντικειμένου, ενώ λαμβάνονται παράλληλα μετρήσεις σε κάθε θέση αυτής.

Ένα παράδειγμα διδιάστατου μοτίβου είναι ένα πλέγμα γραμμών. Μια κάμερα χρησιμοποιείται για να εξετάσει την παραμόρφωση του μοτίβου και ένας αρκετά σύνθετος αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την απόσταση κάθε σημείου του. Ένας λόγος για τη πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι η ασάφεια. Ας θεωρηθεί μια σειρά παράλληλων λωρίδων laser που απλώνονται πάνω στο αντικείμενο. Στην πιο απλή περίπτωση μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι η από τα αριστερά προς τα δεξιά σειρά των λωρίδων αντικατοπτρίζει τη σειρά των δεσμών laser στο πλέγμα, ώστε η αριστερότερη λωρίδα να είναι η πρώτη δέσμη laser, η επόμενη η δεύτερη κ.ο.κ. Σε μη συνεχή αντικείμενα τα οποία έχουν τρύπες και απότομες αλλαγές βάθους η σειρά σπάει καθώς οι δέσμες χάνονται, γεγονός το οποίο οδηγεί ολόκληρο το σύστημα σε συνολική ασάφεια.

Το πλεονέκτημα των τρισδιάστατων σαρωτών δομημένου φωτός είναι η ταχύτητα. Αντί να σαρώνεται ένα σημείο τη φορά, σαρώνονται πολλαπλά σημεία ή και ολόκληρο το οπτικό τους πεδίο μονομιάς. Αυτό ελαττώνει ή και πολλές φορές εξαλείφει πλήρως το πρόβλημα της παραποίησης των δεδομένων από ανεπιθύμητες δονήσεις του συστήματος. Μερικά υπάρχοντα συστήματα έχουν τη δυνατότητα να σαρώνουν κινούμενα αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο.

I.1.1.2.γ Παθητικοί μη επαφής σαρωτές

Οι παθητικοί σαρωτές δεν εκπέμπουν οι ίδιοι κάποιο είδος ακτινοβολίας, εν τούτοις όμως στηρίζουν τη λειτουργία τους στην ανίχνευση της ανακλώμενης περιρρέουσας ακτινοβολίας. Οι περισσότεροι σαρωτές αυτού του τύπου ανιχνεύουν το ορατό φως, διότι αυτό είναι μία άφθονα διαθέσιμη περιρρέουσα ακτινοβολία. Άλλου τύπου ακτινοβολίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι η υπέρυθη ακτινοβολία. Οι παθητικές μέθοδοι είναι συνήθως αρκετά φθηνές, καθώς στις περισσότερες των περιπτώσεων δε χρειάζονται κάποιο συγκεκριμένο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό.

- Στερεοσκοπικοί σαρωτές

Τα στερεοσκοπικά συστήματα συνήθως χρησιμοποιούν δύο βιντεοκάμερες, σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, κοιτάζοντας ακριβώς στο ίδιο σημείο. Αναλύοντας τις μικρές διαφορές μεταξύ των εικόνων που αποτυπώνονται από την κάθε κάμερα ξεχωριστά, είναι δυνατό να οριστεί η απόσταση κάθε σημείου των εικόνων. Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στην ανθρώπινη στερεοσκοπική όραση.

- Σαρωτές περιγράμματος

Αυτοί οι τύποι τρισδιάστατων σαρωτών χρησιμοποιούν περιγράμματα τα οποία δημιουργούνται από μια σειρά φωτογραφιών γύρω από ένα τρισδιάστατο αντικείμενο με φόντο υψηλής αντίθεσης. Τα περιγράμματα στη συνέχεια ενοποιούνται προκειμένου να

προσεγγιστεί το κέλυφος του αντικειμένου, δηλαδή η εξωτερική του επιφάνεια. Με αυτό το είδος των τεχνικών, μερικά είδη κοιλωμάτων δεν ανιχνεύονται.

- Σαρωτές που απαιτούν υποβοήθηση από το χρήστη

Η χρησιμοποιούμενη τεχνική σάρωσης βασίζεται στην εκτίμηση του χρήστη για την ανίχνευση και αναγνώριση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και του σχήματος σε ένα σετ διαφορετικών εικόνων του αντικειμένου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται προσεγγιστικά η επιφάνεια του αντικειμένου. Αυτού του είδους οι τεχνικές είναι χρήσιμες στην κατασκευή γρήγορων προσεγγίσεων αντικειμένων με απλό σχήμα, όπως είναι ένα κτίριο. Αυτού του τύπου η τρισδιάστατη σάρωση στηρίζεται στις αρχές της φωτογραμμομετρίας. Η φιλοσοφία της είναι παρόμοια με την πανοραμική φωτογράφιση. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι εδώ λαμβάνονται διαδοχικές φωτογραφίες ενός αντικειμένου σε τρισδιάστατο χώρο προκειμένου για την αναπαραγωγή του, ενώ στη δεύτερη λαμβάνεται μια σειρά φωτογραφιών από ένα σημείο, σε τρισδιάστατο χώρο, προκειμένου να αναπαραχθεί ο περιβάλλον χώρος.

I.1.2 Μέθοδοι αναπαράστασης επιφανειών

Υπάρχουν διάφορων ειδών format αποθήκευσης στερεών μοντέλων, το κάθε ένα από τα οποία αποθηκεύει διαφορετικού τύπου πληροφορίες και με διαφορετική φιλοσοφία. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιο από τα format, αναλόγως με την επεξεργασία στην οποία θέλει να υποβάλει το μοντέλο και το είδος των πληροφοριών που θέλει να αποθηκεύσει. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σημαντικότερα είδη format αποθήκευσης στερεών μοντέλων.

I.1.2.1 STL format

Το STL format χρησιμοποιείται από στερεολιθογραφικά λογισμικά για να δημιουργήσει τις πληροφορίες που χρειάζονται ώστε να παραχθούν τρισδιάστατα μοντέλα. Ένας πιο συγκεκριμένος ορισμός ενός STL αρχείου είναι η τριγωνική αναπαράσταση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Η επιφάνεια των αντικειμένων “σπάει” σε μια λογική ακολουθία τριγώνων με κάθε τρίγωνο να ορίζεται μοναδικά από την κάθετό του και από τρία σημεία που παριστούν τις κορυφές του. Το STL αρχείο είναι μια ολοκληρωμένη λίστα των X-Y-Z

συντεταγμένων των κορυφών και των καθέτων των τριγώνων που περιγράφουν το τρισδιάστατο αντικείμενο.

Ένα καλό STL αρχείο πρέπει να συμμορφώνεται με δύο κανόνες. Ο πρώτος κανόνας ορίζει ότι παρακείμενα τρίγωνα πρέπει να έχουν δυο κορυφές κοινές και ο δεύτερος ότι πρέπει να ορίζεται ο προσανατολισμός των τριγώνων, δηλαδή ποια πλευρά είναι η εσωτερική και ποια η εξωτερική. Εάν κάποιο από αυτά τα δύο κριτήρια δεν ικανοποιείται, θα υπάρχουν προβλήματα στο STL αρχείο. Μικρά κενά και ασυνέχειες μπορούν συνήθως να διορθωθούν χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό για χειρισμό STL αρχείων. Πιο σημαντικά προβλήματα συνήθως απαιτούν επιστροφή στο αρχικό CAD μοντέλο για μετατροπές. Πολλές φορές τα STL αρχεία έχουν προβλήματα κατά τη μετάφραση των δεδομένων. Σε πολλά CAD συστήματα ο αριθμός των τριγώνων που αναπαριστούν την επιφάνεια, μπορεί να οριστεί από το χρήστη του συστήματος. Εάν δημιουργηθούν πάρα πολλά τρίγωνα, το STL αρχείο θα γίνει πολύ δύσκολο στη διαχείριση εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους του. Εάν, όμως, χρησιμοποιηθούν πολύ λίγα τρίγωνα, οι καμπύλες επιφάνειες δε θα ορίζονται επακριβώς, με αποτέλεσμα, για παράδειγμα, ένας κύλινδρος να μοιάζει με εξάγωνο.

Κατά τη δημιουργία ενός STL αρχείου, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα ρύθμισης διαφόρων παραμέτρων για την ανάλυση του μοντέλου. Ανάλογα με το μέγεθος του, τη γεωμετρία των μικρών λεπτομερειών και τη συνολική κυρτότητά του, η ανοχή φτάνει κατά μέσο όρο τα 25 nm. Μικρά μέρη του μοντέλου με σημαντικές λεπτομέρειες μπορεί να χρειαστούν ακόμα μικρότερες ανοχές.

I.1.2.2 IGES format

Το συγκεκριμένο format καθιερώνει δομές πληροφοριών οι οποίες χρησιμοποιούνται στην ψηφιακή αναπαράσταση και επικοινωνία δεδομένων που ορίζουν ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Το IGES format αντιμετωπίζει το αντικείμενο σαν ένα αρχείο αυτοτελών οντοτήτων. Κάθε οντότητα απεικονίζεται σε ένα format ανεξάρτητο από την εφαρμογή στην οποία αναπτύχθηκε το αρχικό CAD μοντέλο .

Όπως αναφέρθηκε, η θεμελιώδης μονάδα δεδομένων σε ένα IGES format είναι η οντότητα. Ο οντότητες κατηγοριοποιούνται σε γεωμετρικές και μη γεωμετρικές. Οι γεωμετρικές οντότητες αναπαριστούν το φυσικό σχήμα του αντικειμένου και περιλαμβάνουν σημεία, καμπύλες, στερεά και συσχετισμούς, τα οποία είναι ένα σύνολο από όμοια δομημένες

οντότητες. Οι μη γεωμετρικές οντότητες συνήθως εμπλουτίζουν το μοντέλο, παρέχοντας μια προοπτική απεικόνιση στην οποία ένα διδιάστατο σχέδιο μπορεί να περιλαμβάνει σχόλια και διαστάσεις που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία του. Παρέχουν επίσης στοιχεία για την ομαδοποίηση διαφόρων οντοτήτων καθώς και επακριβείς πληροφορίες για τις φυσικές ιδιότητες ή τα χαρακτηριστικά των ομάδων αυτών. Ο προσδιορισμός των ομαδοποιήσεων μπορεί να βρίσκεται σε διαφορετικό φάκελο. Τυπική μη γεωμετρική οντότητα για την εισαγωγή σχολίων και διαστάσεων στο σχέδιο είναι η όψη (view), ενώ αντίστοιχα για τον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων καθώς και για την ομαδοποίηση διαφόρων οντοτήτων είναι οι οντότητες ιδιοτήτων και συσχετίσεων.

Ένα IGES αρχείο μπορεί να περιλαμβάνει έναν οποιοδήποτε αριθμό από οντότητες οποιουδήποτε τύπου, ώστε να αναπαρίσταται ικανοποιητικά το αντικείμενο. Κάθε οντότητα περιλαμβάνει μια καταχώρηση φακέλου και μια είσοδο παραμέτρων. Η καταχώρηση φακέλου παρέχει ένα δείκτη ο οποίος περιλαμβάνει περιγραφικά χαρακτηριστικά για τα δεδομένα. Οι παράμετροι παρέχουν συγκεκριμένους προσδιορισμούς για τις οντότητες. Τα δεδομένα φακέλου οργανώνονται σε προκαθορισμένα πεδία και παρέχουν σε όλες τις οντότητες εύκολη πρόσβαση σε πολύ συχνά χρησιμοποιούμενα δεδομένα. Τα δεδομένα των παραμέτρων ποικίλουν σε μέγεθος και σύνταξη. Τα δεδομένα φακέλου και τα δεδομένα των παραμέτρων οργανώνονται σε διαφορετικούς τομείς για όλες τις οντότητες στο αρχείο, ώστε να παρέχουν αμφίδρομη διασύνδεση μεταξύ των δεδομένων φακέλου και των δεδομένων των παραμέτρων για κάθε οντότητα.

I.1.2.3 PARASOLID format

Το parasolid είναι ένα format για τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα, το οποίο προσφέρει λειτουργικότητα πυρήνα, ώστε να επιτρέπει στο χρήστη να μοντελοποιεί περίπλοκα αντικείμενα γρήγορα και εύκολα. Στηριζόμενο σε τεχνολογία απεικόνισης ορίων υψηλής ακρίβειας, υποστηρίζει μοντελοποίηση στερεών, μοντελοποίηση γλυπτών επιφανειών εντός ενός ενσωματωμένου πλαισίου, καθώς επίσης και γενική μοντελοποίηση κυττάρου.

Το parasolid format προσφέρει πολλά λειτουργικά πλεονεκτήματα, τα οποία το καθιστούν ελκυστικό στη χρήση για ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών. Κατά πρώτον, προσφέρει διάφορες τεχνικές μοντελοποίησης οι οποίες υποστηρίζουν προηγμένα χαρακτηριστικά κατά τη δημιουργία των μοντέλων, όπως την εξαγωγή στερεών μοντέλων από κλειστές επιφάνειες

ή την ανάγλυφη διακόσμηση επιφανειών περίπλοκων στερεών μοντέλων. Επιπρόσθετα, προσφέρει στους χρήστες των CAD λογισμικών τη δυνατότητα να δημιουργούν λεπτότοιχα αντικείμενα μέσω διαφόρων μεθόδων, χρησιμοποιώντας απλές ενέργειες, όπως την αύξηση του πάχους μοντέλων από έλασμα, κοίλανση στερεών μοντέλων κ.α. Μία ακόμη δυνατότητα του parasolid format είναι η αναγνώριση και η ασφαλής απομάκρυνση διαφόρων λεπτομερειών του μοντέλου, όπως είναι οι τρύπες και οι αυθαίρετα επιφάνειες, ώστε να υποστηριχθούν λειτουργίες, όπως η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων και οι CAM λειτουργίες. Τέλος, το parasolid format προσφέρει λειτουργία μοντελοποίησης ελασμάτων, η οποία συμπληρώνει τις δυνατότητες του στη στερεή μοντελοποίηση επιτρέποντας στις εφαρμογές να ενσωματώνουν εύκολα τα πλεονεκτήματα των δύο προτύπων σε περιβάλλον υβριδικής μοντελοποίησης. Η συγκεκριμένη λειτουργία περιλαμβάνει:

- Εντολές extending, trimming and untrimming λεπτότοιχου μοντέλου
- Αντικατάσταση του σώματος ενός λεπτότοιχου μοντέλου
- Διαγραφή οπών από λεπτότοιχο μοντέλο
- Αύξηση πάχους λεπτότοιχων μοντέλων για τη δημιουργία στερεού

I.1.2.4 ACIS SAT format

Το ACIS SAT format είναι ένα τρισδιάστατο σύστημα μοντελοποίησης το οποίο χρησιμοποιείται από πολλά λογισμικά, όπως τα CAD/CAM και CMM λογισμικά, καθώς επίσης και από λογισμικά για τη σχεδίαση πλοίων. Το συγκεκριμένο format αναδεικνύει μια αρχιτεκτονική η οποία παρέχει εύρωστες δυνατότητες τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Χρησιμοποιείται στη δημιουργία εφαρμογών με υβριδικά χαρακτηριστικά μοντελοποίησης, αφού ενσωματώνει μοντελοποίηση wireframe και ένα μεγάλο σύνολο από γεωμετρικές δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων

Ένα στοιχείο (component) λογισμικού, είναι μια εξειδικευμένη μονάδα λογισμικού η οποία εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο σκοπό. Αποτελεί συστατικό στοιχείο ενός συνολικού συστήματος λογισμικών, τα οποία είναι συγκεντρωμένα μαζί και πωλούνται σαν πακέτο. Τα στοιχεία λογισμικού μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους συνδυασμούς για να δημιουργήσουν διαφορετικά πακέτα. Το ACIS SAT format έχει σχεδιασθεί χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη τεχνολογία, με αποτέλεσμα να επιτρέπει τη χρησιμοποίηση μόνο των στοιχείων που απαιτούνται σε κάθε εφαρμογή.

Οι λειτουργίες του ACIS SAT format περιλαμβάνουν:

- Εντολές extrude, revolve, sweep διδιάστατων καμπυλών σε περίπλοκα μοντέλα επιφανειών ή στερεών
- Εντολές fillet και chamfer μεταξύ επιφανειών και κατά μήκος ακμών σε μοντέλα επιφανειών και στερεών
- Κοίλανση στερεών και αύξηση πάχους επιφανειών
- Αλληλεπιδραστικούς συνδυασμούς εντολών bend, twist, stretch and warp για καμπύλες, επιφάνειες και στερεά
- Εντολές Boolean μεταξύ καμπυλών, επιφανειών και στερεών
- Καταγραφή γεωμετρικών και τοπολογικών αλλαγών
- Υπολογισμός μάζας και όγκου
- Μοντελοποίηση υπο-περιοχών ενός στερεού μέσω τοπολογίας κυττάρου

Το ACIS SAT αποθηκεύει τις πληροφορίες μοντελοποίησης σε εξωτερικά αρχεία τα οποία έχουν ανοιχτό format ώστε να επιτρέπεται η πρόσβαση στο ACIS γεωμετρικό μοντέλο εξωτερικών εφαρμογών, ακόμα και αυτών που δε στηρίζονται σε ACIS σχεδίαση. Οι βασικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για ένα ACIS SAT format περιλαμβάνουν τη δομή του αρχείου, το πώς τα αρχεία είναι ομαδοποιημένα καθώς και τον τύπο των δεδομένων που έχουν γραφεί.

I.1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Κατά τη βιβλιογραφία, εκτενείς έρευνες έχουν γίνει πάνω σε διάφορες πτυχές της ανάστροφης μηχανολογίας, από τη συλλογή ψηφιοποιημένων δεδομένων μέχρι και τη μοντελοποίηση και προτυποποίησή τους. Ορισμένες από αυτές τις έρευνες παρατίθενται παρακάτω.

Οι laser σαρωτές παρέχουν τρισδιάστατη αναπαράσταση των επιφανειών με γενικά πολύ μεγάλο αριθμό σημείων. Από τη στιγμή που οι laser σαρωτές έχουν περιορισμένο οπτικό πεδίο, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται δεδομένα από διάφορες γωνίες, τα οποία πρέπει να έρθουν σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων. Οι Kwang-Ho Bae και Derek D. Lichti προτείνουν (1) μια μέθοδο για την καταχώρηση ανοργάνωτων νεφών σημείων καθώς και για την αβεβαιότητα της θέσης των σημείων μέσα στα νέφη χρησιμοποιώντας γεωμετρικά

αρχέγονα. Η μεταβολή της γεωμετρικής καμπυλότητας και η προσέγγιση του κάθετου διανύσματος της επιφάνειας που δημιουργείται από ένα σημείο και των γειτονικών του, χρησιμοποιούνται για την επίτευξη του τελικού σκοπού.

Οι SoftAssign και EMICP είναι δύο αλγόριθμοι οι οποίοι αντιπροσωπεύουν την τεχνολογία αιχμής για την αυτόματη καταχώρηση επικαλυπτόμενων νεφών σημείων, ο μεν πρώτος επιβάλλοντας δύο δρόμων περιορισμούς, ο δε δεύτερος ένα. Και οι δύο όμως έχουν χρονική πολυπλοκότητα $O(n^2)$, ενώ συγχρόνως ο πρώτος έχει χωρική πολυπλοκότητα $O(n^2)$, τα οποία τους καθιστούν δύσχρηστους σε μεγάλα νέφη με χιλιάδες σημεία. Ο Yonghuai Liu (2) προτείνει τη χρησιμοποίηση συνδυασμού εγγυτέρων σημείων, με ενός ή δύο δρόμων περιορισμούς, ώστε να συνδυάζεται η ακρίβεια των SoftAssign και EMICP αλγορίθμων με την αποδοτικότητα των παραδοσιακών επαναληπτικών αλγορίθμων εγγυτέρων σημείων (Iterative Closest Point, ICP) αλγορίθμων για την αυτόματη καταχώρηση επικαλυπτόμενων νεφών.

Η σάρωση περίπλοκων γεωμετρικών αντικειμένων με οπτικά μέσα απαιτεί πολλαπλές σαρώσεις από διάφορες θέσεις. Τα νέφη σημείων που προκύπτουν πρέπει να έρθουν σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων. Ο Axel Wendt (3) προτείνει ένα σενάριο για καταχώρηση με βάση ζεύγη μορφολογικών χαρακτηριστικών σαρωμένων σημείων με υβριδικό laser, το οποίο περιλαμβάνει την εξαγωγή και περιγραφή των διαφόρων χαρακτηριστικών από ταυτόχρονη εξέταση των στοιχείων του laser σαρωτή και φωτογραμμομετρικών εικόνων.

Οι Tahir Rabbani, Sander Dijkman, Frank van den Heuvel και George Vosselman (4) προτείνουν δύο μεθόδους για την καταχώρηση νεφών σημείων με διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων. Η πρώτη μέθοδος, με ονομασία “Εμμεση μέθοδος”, είναι μια προσέγγιση δύο βημάτων, καθώς η καταχώρηση και η εφαρμογή της επιφάνειας γίνονται ξεχωριστά, ενώ κατά τη δεύτερη μέθοδο, με ονομασία “Άμεση μέθοδος”, ορίζονται συγχρόνως οι παράμετροι του σχήματος και της καταχώρησης. Σε σύγκριση με τους ICP αλγορίθμους, ο συνδυασμός καταχώρησης και μοντελοποίησης οδηγεί στην αποφυγή συσσωρευμένων λαθών, ενώ συγχρόνως είναι δυνατή η ταυτόχρονη καταχώρηση πολλαπλών νεφών σημείων.

Οι κοινές προσεγγίσεις για καταχώρηση νεφών σημείων, στηρίζονται κυρίως σε ICP αλγορίθμους, οι οποίοι είναι μη γραμμικοί και απαιτούν πολύ καλές αρχικές συνθήκες για να εξασφαλίζεται η σύγκλιση με το πραγματικό αντικείμενο. Οι Shahar Barnea και Sagi Filin (5) παρουσιάζουν μια υπολογιστική προσέγγιση στο πρόβλημα της καταχώρησης. Στην ουσία αξιοποιούνται τα σταθερά χαρακτηριστικά από τρισδιάστατους μετασχηματισμούς απολύτως στερεών σωμάτων ώστε να μειωθεί δραστικά το υπολογιστικό φορτίο που σχετίζεται με το

ταίριασμα μεταξύ γεωμετριών-κλειδιών. Με αυτόν τον τρόπο, η αναγνώριση των γεωμετριών-κλειδιών μπορεί να αντιμετωπιστεί σαν ένα πρόβλημα ταιριάσματος υπο-γραφημάτων (sub-graph matching problem).

Η ανθρώπινη παρέμβαση είναι συνήθως απαραίτητη σε μια τραχεία καταχώρηση ενώ η λεπτή καταχώρηση είναι μια ημιαυτόματη διαδικασία. Οι L.M. Galantuci, G. Percoco και R. Spina (6) προτείνουν μια υβριδική προσέγγιση για αυτόματη καταχώρηση που εφαρμόζεται σε ανάγλυφες επιφάνειες. Αυτή η υβριδική προσέγγιση επιτρέπει την ασύγχρονη επικοινωνία δεδομένων, μεταξύ ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου και ενός γενετικού αλγορίθμου. Το νευρωνικό δίκτυο πραγματοποιεί μια τραχεία ευθυγράμμιση δίνοντας μια αρχική λύση στη καταχώρηση και στην οποία έπειτα εφαρμόζεται ο γενετικός αλγόριθμος για την ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων μεταξύ των γεωμετρικών οντοτήτων του νέφους σημείων.

Οι Philip Azariadis και Nickolas Sapidis (7) παρουσιάζουν μια μέθοδο για την παραμετροποίηση τρισδιάστατων νεφών σημείων χρησιμοποιώντας μια επαναλαμβανόμενα υποδιαιρούμενη προσέγγιση. Η ιδέα υιοθετείται από την προκύπτουσα σημειακή γεωμετρική μοντελοποίηση και επεκτείνεται στις δυναμικές επιφάνειες για τη βελτίωση της ακρίβειας της παραμετροποίησης που προκύπτει. Παρουσιάζει πλεονεκτήματα στην αντιμετώπιση νεφών με ποικίλη πυκνότητα σημείων, οπές ή ακμές καθώς και ανεπιθύμητα όρια.

Ο Philip Azariadis (8) προτείνει μια νέα μέθοδο παραμετροποίησης νεφών από αδόμητα σημεία. Η προτεινόμενη μέθοδος εισάγει την έννοια των επιφανειών δυναμικής βάσης (Dynamic Base Surfaces, DBS) οι οποίες υιοθετούνται δυναμικά από το τρισδιάστατο σχήμα που ορίζεται από το νέφος σημείων. Βασίζεται σε μια επαναληπτική διαδικασία όπου μια DBS βελτιώνεται σταδιακά προβάλλοντας ορθογωνικά το νέφος σημείων πάνω σε αυτή, προσεγγίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη γεωμετρία του νέφους με μεγαλύτερη αξιοπιστία.

Πολλές φορές τα μοντέλα που δημιουργούνται από τη σάρωση φυσικών αντικειμένων παρουσιάζουν ανωμαλίες οι οποίες εμποδίζουν την κατασκευή ενός χρήσιμου προτύπου. Οι Andrew Willis, Jasper Speicher και David B. Cooper (9) προτείνουν μια μέθοδο κατά την οποία δημιουργούνται τρισδιάστατα μοντέλα για προτυποποίηση, παίρνοντας το νέφος σημείων σαν είσοδο δεδομένων και εφαρμόζοντας σε αυτό μια κλειστή, τρισδιάστατη επιφάνεια με τρόπο που να εξασφαλίζεται η ακρίβεια στην αναπαράσταση και η συμβατότητα με μηχανές προτυποποίησης. Η μοντελοποίηση της επιφάνειας και η προσαρμογή στα δεδομένα σε ένα νέο πλαίσιο εργασίας, αντιμετωπίζονται σαν υπολογισμός τρισδιάστατων στοχαστικών επιφανειών.

Οι Y.F. Zhang, Y.S. Wong, H.T. Loh και Y.F Wu (10) παρουσιάζουν μια μέθοδο τεμαχισμού για τη μοντελοποίηση ενός νέφους σημείων. Μια προτυποποίηση βασισμένη σε στρώσεις (layer-based) δημιουργείται από αυθαίρετα διεσπαρμένα δεδομένα των νεφών και δίνονται στις μηχανές ταχείας προτυποποίησης για κατασκευή. Δίνεται έμφαση στον τρόπο ελέγχου του πάχους της κάθε στρώσης, ώστε να ικανοποιείται ένα εύρος σφάλματος σχήματος που ορίζεται από το χρήστη. Το πρώτο βήμα είναι η κατάτμηση του νέφους σημείων σε ένα αριθμό από στρώσεις, τεμαχίζοντας και προβάλλοντας τα δεδομένα πάνω σε ένα επίπεδο. Από τα δεδομένα λαμβάνονται μόνο τα σημεία-κλειδιά και από αυτά κατασκευάζεται μια πολυγωνική προσέγγιση του σχήματος. Η μέγιστη απόκλιση των σημείων της στρώσης συγκρίνονται με το δεδομένο εύρος σφάλματος. Αποφασίζεται η αύξηση ή η μείωση του πάχους της στρώσης και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η μέγιστη απόκλιση να είναι μικρότερη από το δεδομένο εύρος σφάλματος.

Το μεγάλο μέγεθος των δεδομένων της σάρωσης δεν επιτρέπει την εύκολη μοντελοποίηση της επιφάνειας κατά την ανάστροφη μηχανολογία, ούτε την κατασκευή ενός φυσικού αντιγράφου κατά τη διαδικασία της ταχείας προτυποποίησης. Οι Kwan H. Lee και H. Woo (11) αναπτύσσουν αλγόριθμους οι οποίοι ελαττώνουν το μέγεθος του νέφους σημείων ώστε να είναι ευκολότερη η διαχείριση των δεδομένων.

Οι marching-cube-based αλγόριθμοι δεν είναι επαρκώς ικανοί στη μεταχείριση μεγάλων νεφών σημείων. Οι L.Y. Zhang, R.R. Zhou και L.S. Zhou (12) προτείνουν έναν αλγόριθμο φιλτραρίσματος δεδομένων, ο οποίος μειώνει αυτόματα τον αριθμό των σημείων του νέφους με μια ορισμένη ανοχή και στη συνέχεια δημιουργείται ένα πλέγμα τριγωνικών στοιχείων από το απλοποιημένο νέφος. Επίσης προτείνουν μια προσέγγιση για την κάλυψη ανεπιθύμητων κενών που μπορεί να προκύψει από το απλοποιημένο νέφος.

Οι W. Sun, C. Brabley, Y.F. Zhang, και H.T. Loh (13) περιγράφουν μια εφαρμογή τριγωνοποίησης με βάση τα λάθη σε πολύ μεγάλα τρισδιάστατα δεδομένα. Ο αλγόριθμος μοντελοποιεί τα νέφη σημείων χρησιμοποιώντας ένα ενοποιημένο, μη πλεονάζον τριγωνικό πλέγμα, το οποίο γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται μια ελάττωση του όγκου δεδομένων μέσω τρισδιάστατου χωρικού φιλτραρίσματος. Στη συνέχεια ξεκινά η τριγωνοποίηση με την εξαγωγή των χωρικών παραμέτρων φιλτραρίσματος από το νέφος σημείων καθώς και του απαιτούμενου χωρικού σφάλματος μεταξύ της τελικής τριγωνοποίησης και του νέφους σημείων.

Ο μεγάλος όγκος δεδομένων από διάφορες τρισδιάστατες μετρήσεις εγείρει δυσκολίες όχι μόνο στην απαίτηση χρόνου για την επεξεργασία των δεδομένων αλλά και στην

περιορισμένη υπολογιστική δύναμη των υπολογιστικών συστημάτων. Γι' αυτό και η κατάτμηση είναι πολύ σημαντική κατά την ομαδοποίηση σημείων με κοινά χαρακτηριστικά. Οι Josep Miquel Biosco και Jose Luis Lerma (14) παρουσιάζουν μια μη επιτηρούμενη κατατμητική προσέγγιση η οποία βασίζεται σε μεθόδους ασαφούς λογικής (fuzzy). Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μια κατάτμηση, η οποία δε χρειάζεται αρχικοποίηση και είναι ικανή να εξάγει επιφάνειες ακόμα και με την ύπαρξη θορύβου και σφαλμάτων, λύνοντας τα προβλήματα γύρω από τις άκρες και που συμβάλλει στη βελτίωση των δημιουργούμενων επιφανειών.

Κατά τη δημιουργία επιφάνειας από νέφος σημείων, μια κατάτμηση η οποία εξάγει τις άκρες και τα διαμερίσματα είναι απαραίτητη, ώστε να εξαχθούν γεωμετρικές πληροφορίες από το νέφος σημείων. Εν τούτοις, είναι δύσκολη η εξαγωγή των ακριβών σημείων ακμής, γιατί τα δεδομένα περιέχουν διακεκριμένα σημεία και πολλές φορές τα σημεία ακμής δε συμπεριλαμβάνονται σε αυτά. Οι H. Woo, E. Kang, Semyung Wang και Kwan H. Lee. (15) προτείνουν έναν αλγόριθμο ο οποίος χρησιμοποιεί την octree-based μέθοδο για τρισδιάστατο πλέγμα, για να μεταχειριστεί ένα μεγάλο όγκο από αδόμητες ομάδες σημείων. Η τελική επιφάνεια δημιουργείται μέσω μιας διαδικασίας ραφίναρισματος και μιας επαναληπτικής υποδιαίρεσης κελιών χρησιμοποιώντας κανονικές τιμές των σημείων.

Οι Andre Meyer και Philippe Marin (16) παρουσιάζουν μια μέθοδο για τον τεμαχισμό ενός πολυγωνικού δικτύου, που έχει προκύψει από ένα νέφος σημείων, για καλύτερο γεωμετρικό έλεγχο. Καταρχήν ανιχνεύονται οι περιοχές με μεγάλη καμπυλότητα. Υπολογίζεται η θέση του άκρου κάθε περιοχής με την τοποθέτηση επιφάνειας η οποία εφάπτεται ασυνεχώς σε αυτή. Η επιφάνεια αυτή ονομάζεται "absoid". Όλο το άκρο υπολογίζεται βήμα-βήμα από νέα "absoids" που εφαρμόζονται με τον ίδιο τρόπο. Με τον υπολογισμό όλων των άκρων, τα άκρα ενώνονται με αποτέλεσμα το τεμαχισμό του πολυγωνικού δικτύου.

Η δημιουργία εύρωστων αρχείων είναι σημαντική για την άμεση και γρήγορη προτυποποίηση καθώς και για σκοπούς ανταλλαγής δεδομένων μέσω internet. Οι L.M. Galantucci, G. Percoco και U. Dal Maso (17) παρουσιάζουν μια αποδοτική κυβική προσέγγιση δημιουργίας STL αρχείων, η οποία στηρίζεται στην κατάτμηση. Κατά τη μέθοδο αυτή, γίνεται μια ανάλυση στην κατασκευή της επιφάνειας και στη δημιουργία προτυποποίησης επικεντρώνοντας στην πιθανότητα της δημιουργίας μιας εύρωστης διεπιφάνειας μεταξύ της ανάστροφης μηχανολογίας και της γρήγορης προτυποποίησης. Ο συνδετικός κρίκος μεταξύ των δύο είναι τα τριγωνικά πλέγματα μέσω των STL αρχείων.

Ξεκινώντας από ένα νέφος σημείων, η συγκεκριμένη προσέγγιση μπορεί να ανιχνεύσει το σχήμα της επιφάνειας, ακολουθούμενο από εξαγωγή συνδετικών γραφημάτων. Η χρήση της μεθόδου επιτρέπει τη δημιουργία ποιοτικών πλεγμάτων, διατηρώντας τις ακμές τους και την αναδόμηση περίπλοκων τοπολογικών πλεγμάτων με ελαχιστοποίηση των λαθών.

Οι Hong-Wei Lin, Chiew-Lan Tai και Guo-Jin Wang (18) παρουσιάζουν έναν αλγόριθμο για την κατασκευή μιας επιφάνειας από τριγωνικά πλέγματα, ξεκινώντας από ένα αρχικό τρίγωνο και αναπτύσσοντας το τριγωνικό πλέγμα επιλέγοντας ένα καινούριο σημείο που βασίζεται σε εγγενή ιδιότητα του νέφους σημείων, όπως η δειγματοληψία του βαθμού ομοιομορφίας. Το πλέγμα που προκύπτει είναι μια προσεγγιστική τριγωνοποίηση ελαχίστου βάρους η οποία περιορίζεται από ένα διδιάστατο πεδίο εξαγωγής.

Οι J. Huang και C.H. Menq (19) προτείνουν μια αξιόπιστη προσέγγιση στην ανακατασκευή του γεωμετρικού σχήματος ενός φυσικού αντικειμένου, η οποία στηρίζεται στα αδόμητα νέφη σημείων που δειγματοληπτούνται από τα όρια της επιφάνειας. Μετά τη δημιουργία ενός πρώτου πλέγματος της επιφάνειας, ανακατασκευάζεται το τριγωνικό πλέγμα σαν μια συνεχής επιφάνεια επιβάλλοντας σαφή σχέση (explicit relationship) μεταξύ των διακεκριμένων σημείων. Στη συνέχεια προτείνονται νέοι μέθοδοι για την απόκτηση αξιόπιστων υπολογισμών καμπυλότητας για την ανακατασκευασμένη από πλέγματα επιφάνεια. Η συνδυαστική δομή των τριγωνικών πλεγμάτων βελτιστοποιείται, μεταβάλλοντας την τοπική τους τοπολογία για την ελαχιστοποίηση της διαφοράς της καμπυλότητας των δύο επιφανειών.

Η αυτόματη καταχώρηση των νεφών σημείων είναι βασικό πρόβλημα στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Μπορεί να προσδιοριστεί σαν μια διαδικασία εφαρμογής επιφάνειας μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων. Οι Armin Gruen και Devrim Acka (20) προτείνουν μια μέθοδο, η οποία υπολογίζει τις παραμέτρους μετασχηματισμού μιας ή πολλών τρισδιάστατων επιφανειών χρησιμοποιώντας το γενικευμένο μοντέλο Gauss-Markoff, ελαχιστοποιώντας το άθροισμα των τετραγώνων των ευκλείδειων αποστάσεων μεταξύ των επιφανειών. Αυτή η διατύπωση δίνει τη δυνατότητα ταύτισης τυχαίου προσανατολισμού τρισδιάστατων επιφανειών, λαμβάνοντας πλήρως υπόψη την τρισδιάστατη γεωμετρία. Συγχρόνως η μέθοδος χρησιμοποιείται για ταύτιση καμπυλών και για ταύτιση καμπυλών σε επιφάνειες.

Επίσης, έχει προταθεί σε έρευνα ένας αλγόριθμος για την ταύτιση ελαχίστων τετραγώνων των επικαλυπτόμενων επιφανειών, ο οποίος υπολογίζει τις παραμέτρους μετατροπής δύο ή περισσότερων τρισδιάστατων επιφανειών ελαχιστοποιώντας τις ευκλείδειες

αποστάσεις μεταξύ τους. Ο Devrim Acka (21) προτείνει μια επέκταση του αλγορίθμου αυτού, η οποία ταιριάζει γεωμετρικά μια επιφάνεια, ενώ συγχρόνως προσδίδει και φυσικές ιδιότητες σε αυτήν όπως είναι η πυκνότητα, το χρώμα και η θερμοκρασία, με βάση ένα συνδυασμένο υπολογιστικό μοντέλο.

Για τις ανάγκες της σάρωσης πολύπλοκων αντικειμένων στην ανάστροφη μηχανολογία, οι Xie Zexiao, Wang Jiangua και Zhang Qiumei (22) προτείνουν ένα μετρητικό σύστημα με πολλαπλούς αισθητήρες, στο οποίο έχουν ενσωματωθεί μια μηχανή μέτρησης συντεταγμένων (CMM), ένας αισθητήρας δομημένου φωτός, ένας αισθητήρας ενεργοποίησης (trigger probe) και ένα περιστρεφόμενο τραπέζι. Ο αισθητήρας δομημένου φωτός είναι σχεδιασμένος με τρόπο που του επιτρέπει να βαθμονομείται γρήγορα σε οποιοδήποτε συνθήκες και να απλοποιεί τις παραμέτρους της CMM. Σαρώνει κυρίως το προφίλ του αντικειμένου από διαφορετικές γωνίες, ενώ το trigger probe χρησιμοποιείται για την μέτρηση των άκρων και των χαρακτηριστικών λεπτομερειών του αντικειμένου. Το περιστρεφόμενο τραπέζι συμπληρώνει τις δυνατότητες σάρωσης.

Οι Xie Zexiao, Zhang Guoxiong, Zhang Qiumei (23) παρουσιάζουν ένα 5-αξονικό σύστημα σάρωσης, στο οποίο έχει εφαρμοσθεί μια CMM, ένας αισθητήρας δομημένου φωτός και μια PH10M περιστρεφόμενη κεφαλή. Το σύστημα μπορεί να θέτει δείκτες τον προσανατολισμό του αισθητήρα με την περιστροφή της κεφαλής αυτόματα και μετατρέπει τα διδιάστατα δεδομένα του αισθητήρα σε τρισδιάστατα δεδομένα, στο γενικευμένο σύστημα συντεταγμένων. Μετρώντας ένα σταθερό σημείο και χρησιμοποιώντας διάφορους προσανατολισμούς του αισθητήρα, αναγνωρίζονται συζευγμένα ζεύγη για τη λύση του συστήματος. Ένα συζευγμένο ζεύγος αντιστοιχεί στη συντεταγμένη του σταθερού σημείου σε διδιάστατο σύστημα συντεταγμένων στις γωνίες περιστροφής του PH10M και στη συντεταγμένη που προκύπτει από τις οπτικές κλίμακες της CMM.

Η συνεχής και αυξανόμενη χρησιμοποίηση laser και CMM τρισδιάστατων σαρωτών στη δημιουργία μοντέλων φυσικών αντικειμένων μέσω της ανάστροφης μηχανολογίας, καθιστά θεμελιώδη και αναγκαίο τον υπολογισμό με ακρίβεια και αξιοπιστία των σχετικών γεωμετρικών ιδιοτήτων του νέφους σημείων, όπως είναι το κάθετο διάνυσμα και η καμπυλότητα σε κοινές CAD/CAM εφαρμογές. Οι Daoshan Ou Yang και His-Yung Feng (24) παρουσιάζουν μια μέθοδο η οποία στηρίζεται στο προσαρμοσμένο εφαπτόμενο διάνυσμα διεύθυνσης στο κάθε σημείο για να προσδιορίσει το κάθετο διάνυσμα. Καταρχήν δημιουργείται ένα τυπικό πλέγμα Voronoi για να αναγνωριστούν τα γειτονικά σημεία και η τοπική γεωμετρία, εφαρμόζοντας ένα σύνολο από τετράπλευρες καμπύλες από τις οποίες

λαμβάνεται το εφαπτόμενο διάνυσμα διεύθυνσης. Το κάθετο διάνυσμα προσδιορίζεται ελαχιστοποιώντας τη διαφορά των εσωτερικών γινομένων μεταξύ του κάθετου διανύσματος και του αντίστοιχου εφαπτόμενου διανύσματος διεύθυνσης.

Η προβολή ενός σημείου πάνω σε ένα νέφος σημείων είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα σε πολλές τεχνικές που βασίζονται σε σημεία, όπως η τεχνική ελαχίστων τετραγώνων, η αντίχρευση σύγκρουσης νεφών και οι ICP αλγόριθμοι. Οι Yu-Shen Liu, Jean-Claude Paul, Jun-Hai Yong, Pi-Qiang Yu, Hui Zhang, Jia-Guang-Sun και Karthik Romani (25) παρουσιάζουν μια μέθοδο για την προβολή σημείων πάνω σε ένα νέφος, η οποία χειρίζεται κατευθείαν το νέφος χωρίς καμία διαδικασία που να αφορά στην ανακατασκευή της επιφάνειας, χρησιμοποιώντας έναν απλό και εύχρηστο αλγόριθμο για την προβολή ελαχίστων τετραγώνων (LSP-least squares projection), ο οποίος προβάλλει σημεία χωρίς κανένα προσδιορισμό του διανύσματος προβολής.

Οι χαρακτηριστικές γραμμές στο μοντέλο μιας επιφάνειας, οι οποίες ορίζονται μέσω τοπικών ακρότατων των κύριων καμπυλοτήτων κατά μήκος των αντίστοιχων κύριων διευθύνσεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βελτίωση της ποιότητας των πλεγμάτων και στην αναγνώριση του σχήματος της επιφάνειας κατά την ανάστροφη μηχανολογία. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι των χαρακτηριστικών αυτών γραμμών έχουν σαν είσοδο τριγωνικά πλέγματα, τα οποία δημιουργούν προβλήματα πολλές φορές στην ανάπτυξη της επιφάνειας από το νέφος σημείων. Οι Kris Demarsin, Denis Vanderstraeten, Tim Volodine και Dirk Roose (26) προτείνουν έναν αλγόριθμο, ο οποίος εξάγει κλειστές, οξείες χαρακτηριστικές γραμμές που είναι απαραίτητες στην κατασκευή ενός δικτύου καμπύλων στο νέφος σημείων, ώστε να οριστούν μέσω αυτού τα σύνορα των διαφόρων επιφανειών.

Κατά τη σάρωση πραγματικών αντικειμένων από τρισδιάστατους σαρωτές, κάποιες ιδιότητες των επιφανειών, όπως χαμηλή ανάκλαση, διάκενα και περιορισμένη προσέγγιση, οδηγούν στην ελλειπή σάρωση του αντικειμένου με αποτέλεσμα την ατελή ανακατασκευή του και την ύπαρξη οπών στο μοντέλο. Οι Jianning Wang και Manuel M. Oliveira (27) παρουσιάζουν έναν αλγόριθμο για την πλήρωση αυτών των οπών, ο οποίος βασίζεται στην τεχνική των ελαχίστων τετραγώνων και μπορεί να παρεμβάλλει γεωμετρικές πληροφορίες και πληροφορίες σκίασης.

Οι Minhho Chang και Sang C. Park (28) παρουσιάζουν μια διαδικασία για την εύρεση ενός προσεγγιστικού επιπέδου συμμετρίας ενός νέφους σημείων για τη δημιουργία ενός συμμετρικού αντικειμένου από ανάστροφη μηχανολογία. Εάν και το νέφος σημείων δε διαθέτει επίπεδο συμμετρίας με τη μαθηματική έννοια, τα δεδομένα του συνήθως

περιλαμβάνουν επαρκείς πληροφορίες για τη συμμετρία του. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο εξάγεται ένα επίπεδο συμμετρίας ευθυγραμμίζοντας τρισδιάστατα μοντέλα .

Κατά τη λήψη μεγάλων νεφών σημείων από τη σάρωση αντικειμένων, είναι πιθανό στα δεδομένα που λαμβάνονται να παρεμβάλλεται θόρυβος. Παρόλα αυτά είναι δυνατό να αποκτάται το ομαλό υπόστρωμα των διαφόρων λεπτομερειών που υποδηλώνεται από αυτό το ογκοδέστατο σε δεδομένα νέφος σημείων. Οι Zhouwang Yang και Tae-wan Kim (29) χρησιμοποιούν κινούμενες παραβολικές προσεγγίσεις για την ανακατασκευή ενός βελτιωμένου μοντέλου από αδόμητο νέφος σημείων, ενώ συγχρόνως υπολογίζονται οι διαφορικές ιδιότητες του ομαλού υποστρώματος.

Κατά την απευθείας εργασία πάνω σε ένα νέφος σημείων, οι διαδικασίες επεξεργασίας του βασίζονται περισσότερο στα ανεπεξέργαστα δεδομένα των νεφών σημείων και στα γεωμετρικά τους υποστρώματα παρά σε οποιοσδήποτε αυθαίρετες, ενδιάμεσες αναπαραστάσεις και γενικώς σχέσεις συνδεσιμότητας. Οι C. Moenning, F. Memoli, G. Sapiro, N. Dyn και N.A. Dodgson (30) επεκτείνουν αυτή την αρχή στο πεδίο της υποδιαίρεσης επιφανειών, εισάγοντας την ιδέα της χωρίς πλέγματα γεωμετρικής υποδιαίρεσης, η οποία αντικαθιστά το ρόλο της συνδεσιμότητας των πλεγμάτων με εγγενή προσέγγιση σημείων, αποφεύγοντας με αυτόν τον τρόπο ένα σύνολο από περιορισμούς στην υποδιαίρεση των επιφανειών με βάση τα πλέγματα.

Όταν ένα νέφος σημείων αποτελείται από αρκετά εκατομμύρια σημεία, τότε το μοντέλο που προκύπτει από ανάστροφη μηχανολογία γίνεται αρκετά δύσκολο στη διαχείριση και απαιτεί μεγάλη υπολογιστική δύναμη. Οι C.K. Chan και S.T. Tan (31) προτείνουν έναν αλγόριθμο για τον προσδιορισμό των ακρότατων σημείων σε ένα μεγάλο τρισδιάστατο νέφος σημείων, χρησιμοποιώντας μια κυλινδρική προσεγγιστική τεχνική, η οποία θα προσδίδει προσεγγιστικές και ακριβείς λύσεις επιταχύνοντας συγχρόνως την υπολογιστική διαδικασία.

Οι Pal Benko, Ralph R. Martin και Tamas Varady (32) παρουσιάζουν μια διαδικασία για τη δημιουργία στερεών μοντέλων από τρισδιάστατα νέφη σημείων και δίνεται έμφαση στην ακρίβεια και στην τοπολογικά συνεπή αναπαράσταση των ορίων του μοντέλου. Γίνεται λεπτομερέστερη ανάλυση για τέσσερα αλγοριθμικά στοιχεία: τεμαχισμός των δεδομένων σε κατηγορίες, δημιουργία γραμμικών εκβολών (extrusions) και επιφανειών με λεία και περιορισμένα (constrained) προφίλ, δημιουργία της τοπολογίας των οριακής αναπαράστασης (B-rep) μοντέλων και τέλος πρόσθεση των τελικών λεπτομερειών.

Οι Martin Marinov και Leif Kobbelt (33) μελετούν τη δυνατότητα προσέγγισης των διασκορπισμένων δεδομένων με υποδιαιρούμενες επιφάνειες, κατά την οποία χρησιμοποιείται

η πραγματική αναπαράσταση των ορίων της επιφάνειας σαν ένας γραμμικός συνδυασμός συναρτήσεων ομαλής βάσης (smooth basis functions) που σχετίζονται με κορυφές ελέγχου. Πρόκειται για έναν εύρωστο και γρήγορο αλγόριθμο για την ακριβή εύρεση των κοντινότερων σημείων σε μια Loop επιφάνεια, ο οποίος συνδυάζει επαναλήψεις Newton και μη γραμμική ελαχιστοποίηση για την παραμετροποίηση των δεδομένων.

Μια λύση του προβλήματος που σχετίζεται με τα χαμηλής ποιότητας τρισδιάστατα ψηφιοποιημένα δεδομένα, λόγω ύπαρξης θορύβου, λαθών κατά τη μέτρηση και πλεοναζόντων δεδομένων, θα μπορούσε να είναι η προπαρασκευή τους μέσω μιας διαδικασίας φιλτραρίσματος, εξομάλυνσης και ελάττωσης τους, όπως προτείνεται σε αυτήν την έρευνα από τους I. Budak, J. Hodolic, M. Sokovic (34). Πρόκειται για ένα σύστημα προγραμμάτων για μια αρχική επεξεργασία των τρισδιάστατων ψηφιοποιημένων δεδομένων.

Οι Sergei Azernikov και Anath Fitcher (35) προτείνουν μια μέθοδο για τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου από νέφος σημείων, στοχεύοντας σε προβλήματα και δυσκολίες που σχετίζονται με σχεδίαση μέσω του internet, όπως είναι η ακρίβεια, ο χρόνος μετάδοσης των δεδομένων και η αναπαράσταση σε διαφορετικά αδιαίρετα επίπεδα. Η προσέγγιση της κατασκευής του πλέγματος βασίζεται στην εγγραφή των μεγάλων τρισδιάστατων δεδομένων σε ένα μοντέλο ανάλυσης ιεραρχικού χώρου (Hierarchical Space Decomposition Model-HSDM), μέσω μιας δομής Octree. Στη συνέχεια εξάγεται ένα γράφημα συνδεσιμότητας και συμπληρώνεται με όψεις. Το HSDM μπορεί να αναπαραστήσει τα όρια της επιφάνειας και τον εσωτερικό όγκο του αντικειμένου.

Οι Mark Pauli, Niloy J. Mitra και Leonidas J. Guibas (36) παρουσιάζουν ένα πλαίσιο για την ανάλυση της αβεβαιότητας και της ποικιλομορφίας γεωμετριών που προκύπτουν από νέφη σημείων. Η αναπαράσταση αφορά κυρίως σε επιφάνειες που έχουν προκύψει από πεπερασμένο αριθμό σημείων με πιθανό θόρυβο που παρέχουν ανεπαρκείς πληροφορίες για την υποκείμενη επιφάνεια. Αυτή η αβεβαιότητα συλλαμβάνεται εισάγοντας μια στατιστική αναπαράσταση για κάθε σημείο, η οποία δείχνει την πιθανότητα στο χώρο η επιφάνεια που δημιουργείται να περνάει από το σημείο αυτό. Αναλύεται με αυτόν τον τρόπο η επίπτωση του θορύβου και πώς μπορεί αυτός να υποστεί κατάλληλη επεξεργασία για τη βελτίωση της αναπαράστασης του αντικειμένου.

Τα πακέτα λογισμικού της ανάστροφης μηχανολογίας δεν είναι ικανά να ανιχνεύσουν αυτόματα και αξιόπιστα τις υπο-περιοχές μοντέλων με διάσπαρτα δεδομένα. Γενικά καταλήγει σε μια αρχική δοκιμαστική υποδιαίρεση, η οποία στη συνέχεια πρέπει να ραφινάριστεί και απαιτεί σημαντική επέμβαση από τον ανθρώπινο παράγοντα και μεγάλη

υπολογιστική ισχύ. Για να αποφευχθούν αυτοί οι περιορισμοί, οι L.M. Galantucci και G. Percoco (37) προτείνουν μια πολυεπίπεδη προσέγγιση για την αυτόματη αναγνώριση των οριακών σημείων σε πολυγωνοποιημένα νέφη σημείων, ώστε να λυθεί το πρόβλημα της ανίχνευσης των άκρων με μικρές υπολογιστικές απαιτήσεις.

Η ποιότητα της αναπαράστασης των μοντέλων μπορεί να βελτιωθεί σε ένα βήμα ωραιοποίησης (beautification step), κατά το οποίο θα ανιχνευθούν οι γεωμετρικές ανωμαλίες ενώ συγχρόνως θα διορθωθούν τα ελαττώματα στο σχήμα της επιφάνειας. Οι C.H. Gao, F.C. Longbein, A.D. Marshall και R.R. Martin (38) προτείνουν ένα πρακτικό αλγόριθμο για την αντιμετώπιση των συγκεκριμένων προβλημάτων, ο οποίος πραγματοποιεί γρήγορα τις ζητούμενες αλλαγές. Ο περισσότερος χρόνος κατά το βήμα ωραιοποίησης αναλώνεται στο ταίριασμα της επιφάνειας με τη νέα τοπολογία.

Για τη βελτίωση της ακρίβειας των διαστάσεων καθώς και της μείωσης του κόστους παραγωγής και τον περιορισμό λαθών και δοκιμών κατά τη διαδικασία της ταχείας προτυποποίησης, οι You-Min Huang και Hsiang-Yao Lan (39) εισάγουν την έννοια του CAE σε αυτή, η οποία χρησιμοποιεί ένα δυναμικό, πεπερασμένο κώδικα για την εξομοίωση της διαδικασίας φωτοπολυμερισμού, ώστε να ελαττωθεί ο χρόνος επιλογής των παραμέτρων κατεργασίας και να ληφθούν τα δεδομένα παραμόρφωσης. Έπειτα θα εφαρμοσθεί μια δυναμική ανάστροφη αντιστάθμιση για να ληφθεί ένα καινούριο CAD, το οποίο θα φορτωθεί σε μια μηχανή ταχείας προτυποποίησης για πρακτική προτυποποίηση.

Η επανάληψη και η ακρίβεια της διαδικασίας ψηφιοποίησης στην ανάστροφη μηχανολογία γίνεται πολύ σημαντική όταν χρησιμοποιούνται καταστροφικές μέθοδοι για τη συλλογή των δεδομένων, καθώς το αντικείμενο δεν είναι πλέον διαθέσιμο για επαλήθευση. Οι Deepak Giri, Musa Jouaneh και Brent Stucker (40) ασχολούνται με τις πηγές λαθών σε μια τέτοια καταστροφική μέθοδο. Το αντικείμενο εμβαπτίζεται σε εποξικά υλικά και επιτυγχάνεται ένα στρώμα κάθε φορά. Οι φρεσκοκομμένες επιφάνειες σαρώνονται και εικόνες από διαφορετικές στρώσεις συνθέτονται για να δώσουν τρισδιάστατα δεδομένα για το αντικείμενο. Αναγνωρίζονται και αναλύονται διάφορα λάθη που έχουν επίπτωση στην ακρίβεια της διαδικασίας.

Ο σαρωτής του Εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ που χρησιμοποιήθηκε για τη σάρωση των αντικειμένων, υιοθετεί αρκετές από τις παραπάνω τεχνικές. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, πρόκειται για ένα τρισδιάστατο laser, οπτικό σαρωτή ο οποίος δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να σαρώνει αντικείμενα με διάφορες γωνίες, προανατολίζοντας τα νέφη και ανάγοντάς τα σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς αποφεύγοντας

με αυτόν τον τρόπο την επικάλυψή τους. Επίσης, παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας πλέγματος από το νέφος σημείων, μέσω του οποίου ελέγχεται η σάρωση της επιφάνειας, η οποία πρέπει να είναι ολική και να μην έχει κενά, και η αποθήκευση του πλέγματος σε STL format.

II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

II.1 LASER σαρωτής – Hardware και Software

Το Hawk αποτελείται από τα επόμενα στοιχεία:

α) WIZprobe: Το WIZprobe είναι ένας εξελιγμένος οπτικός, laser σαρωτής για τη γρήγορη δημιουργία ακριβών και αξιόπιστων γεωμετρικών σαρώσεων. Είναι πατενταρισμένο και κατασκευάζεται από τη NEXTEC.

β) Hawk Software: Το Hawk περιλαμβάνει το δικό του λογισμικό Windows NT, το οποίο έχει εξελιχθεί ειδικά για την εφαρμογή των λειτουργιών του laser σαρωτή. Ο χειριστής χρησιμοποιεί το λογισμικό για να θέσει τις παραμέτρους της σάρωσης καθώς και για να ελέγξει και εξάγει τα δεδομένα.

γ) Τρισδιάστατη κινούμενη πλατφόρμα: Η τρισδιάστατη κινούμενη πλατφόρμα περιλαμβάνει ένα τραπέζι κινούμενο κατά τις X-Y διευθύνσεις πάνω στην οποία τοποθετείται το υπό σάρωση αντικείμενο, ένα βραχίονα, ο οποίος κινεί το WIZprobe κατά το Z άξονα, και ένα ηλεκτρικό ερμάριο, στο οποίο αποθηκεύονται τα χειριστήρια και τα καλώδια παροχής ρεύματος.

II.1.1 Συνθήκες περιβάλλοντος

Θα πρέπει να επικρατούν οι ακόλουθες συνθήκες στον περιβάλλοντα χώρο λειτουργίας του σαρωτή:

- Το Hawk μπορεί να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε θερμοκρασία μεταξύ 15°C-35°C. Εντούτοις οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας δεν πρέπει να ξεπερνούν τους $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

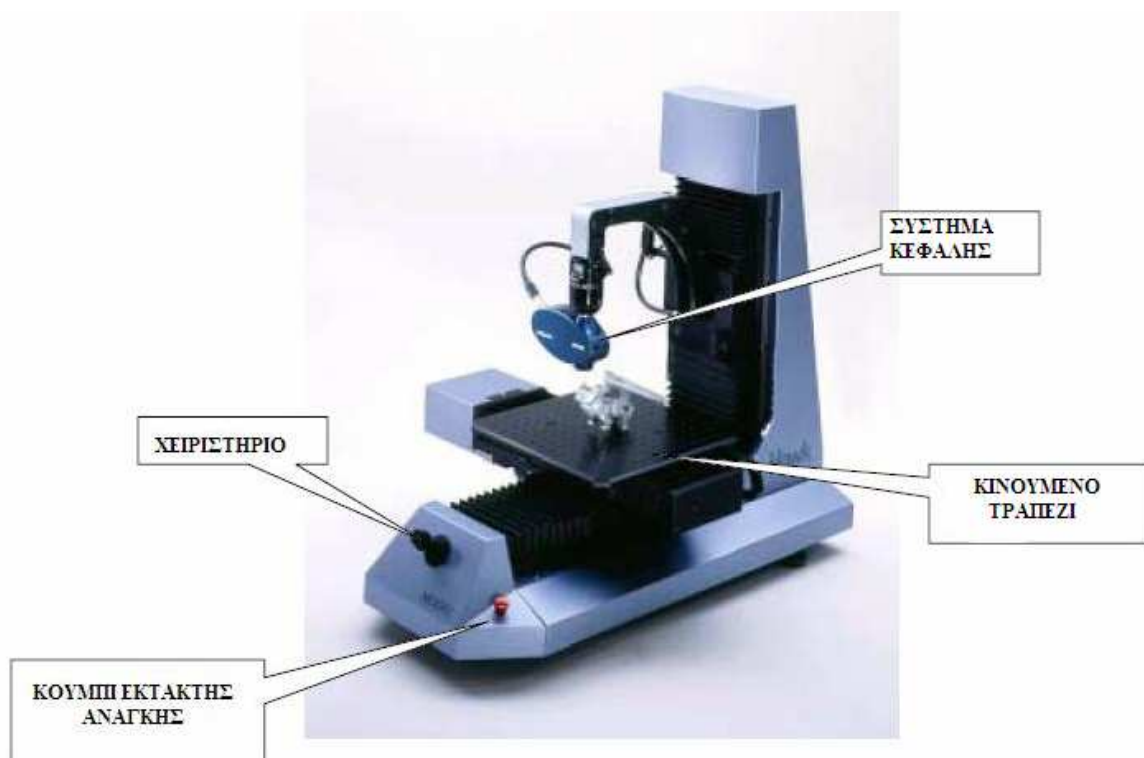
- Δεν πρέπει να εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Το Hawk πρέπει να τοποθετείται σε στερεή και στεγνή επιφάνεια. Για την εξασφάλιση μέγιστης ακρίβειας των μετρήσεων, η επιφάνεια λειτουργίας πρέπει να στερείται δονήσεων.

II.1.2 Γενική επισκόπηση των λειτουργιών του σαρωτή

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το HAWK αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία:

- Το σύστημα κεφαλής, που έχει δυνατότητα κίνησης στον κατακόρυφο άξονα Z
- Το τραπέζι, με δυνατότητα κίνησης στους δύο οριζόντιους άξονες X και Y
- Τον υπολογιστή

Παρατίθενται δύο γενικές φωτογραφίες του συστήματος στις οποίες διακρίνονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά.



Εικόνα II.1 Laser σαρωτής



Εικόνα Π.2 Σύστημα κεφαλής

Π.1.2.1 Περιστρεφόμενη κεφαλή

Η Renishaw περιστρεφόμενη κεφαλή επιτρέπει να σαρώνονται τα αντικείμενα από μια ευρεία γκάμα γωνιών. Η κεφαλή ασφαρίζεται σε επαναλαμβανόμενα διαστήματα των 7.5° . Κάθε θέση κλειδώματος ονομάζεται “tip”. Κάθε “tip” πρέπει να προσδιορίζεται πριν τη χρήση.

Π.1.2.2 Τρισδιάστατη κινούμενη πλατφόρμα

Η τρισδιάστατη κινούμενη πλατφόρμα αποτελείται από το ηλεκτρικό ερμάριο, το τραπέζι μετρήσεων και το χειριστήριο.

Π.1.2.2.α Τραπέζι μετρήσεων

Τα υπό σάρωση αντικείμενα τοποθετούνται πάνω στο τραπέζι. Το τραπέζι περιέχει οπές με σπείρωμα M6 τοποθετημένες ανά 25 mm. Ηλεκτρικοί κινητήρες κινούν το τραπέζι κατά τον X και Y άξονα. Το τραπέζι μπορεί να μετακινηθεί χειροκίνητα μέσω της χρήσης χειριστηρίου.

II.1.2.2.β Χειριστήριο

Ο επόμενος πίνακας εξηγεί πώς κινείται το τραπέζι και ο αισθητήρας μέσω του χειριστηρίου:

ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΤΡΑΠΕΖΙΟΥ ...	ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟΥ...
Προς το χειριστή	Κάτω
Απομάκρυνση από το χειριστή	Πάνω
Προς τα δεξιά	Δεξιά
Προς τα αριστερά	Αριστερά
ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ...	ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟΥ...
Πάνω	Δεξιά
Κάτω	Αριστερά

II.1.2.3 Κουμπί έκτακτης ανάγκης

Πιέζοντας το κουμπί έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση κινδύνου είτε του υπό σάρωση αντικειμένου, είτε του εξοπλισμού, θα σταματήσει στη στιγμή κάθε κίνηση του συστήματος και τα δεδομένα θα συλλεχθούν αυτόματα και θα σωθούν σε ξεχωριστούς φακέλους. Όταν το κουμπί έκτακτης ανάγκης ενεργοποιηθεί, το φως στο κάτω δεξιό άκρο της οθόνης αλλάζει από πράσινο σε κόκκινο.

II.1.2.4 Λογισμικό

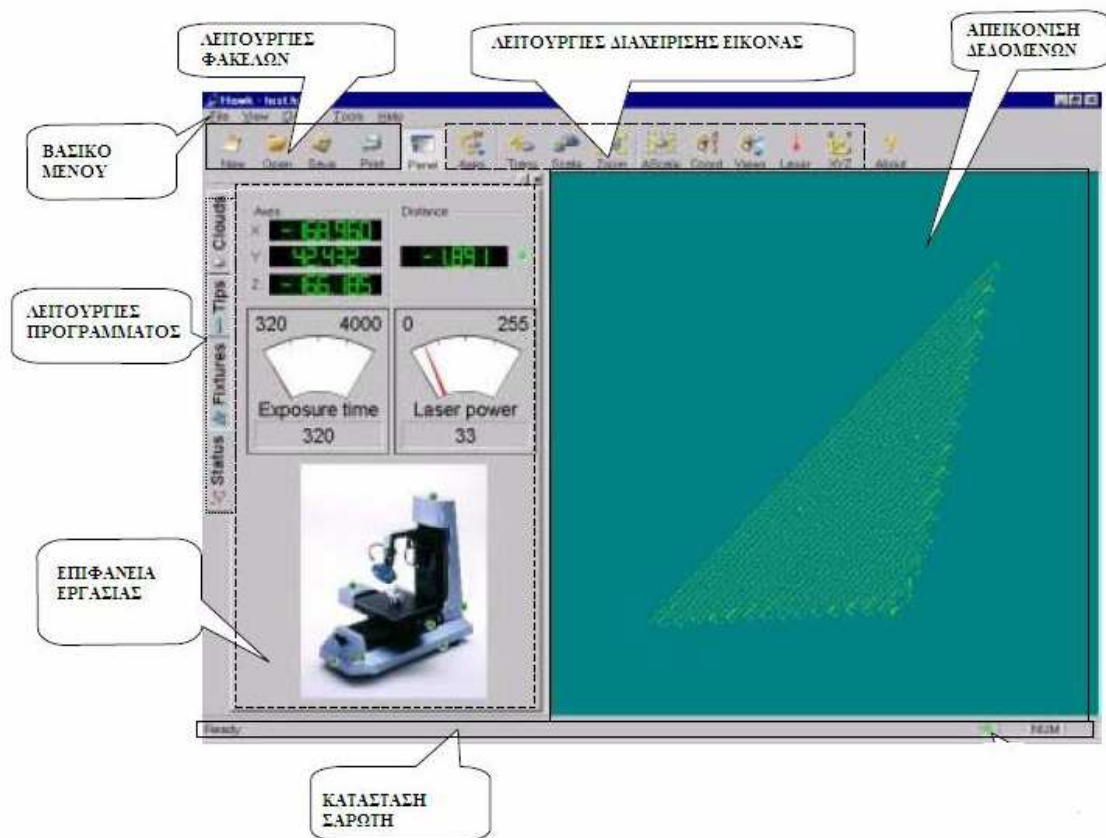
Το λογισμικό του συστήματος παρουσιάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Απλότητα στην προετοιμασία της διαδρομής σάρωσης κάθε αντικειμένου.
- Αναπαράσταση σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της σάρωσης.
- Σάρωση υψηλής ανάλυσης και πυκνότητα σημείων σε ειδικά χαρακτηριστικά και ξεχωριστές λεπτομέρειες.

- Δημιουργία νεφών σημείων και αποθήκευσή τους.
- Σύνθεση νεφών σημείων.
- Εξαγωγή δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία
- Παρουσίαση νεφών σημείων με ποικιλία χρωμάτων.
- Μετακινεί, μεγεθύνει ή περιστρέφει τις εμφανιζόμενες εικόνες.

Π.1.2.5 Κεντρική οθόνη

Η ρύθμιση και η παρακολούθηση της σάρωσης πραγματοποιείται μέσω της κεντρικής οθόνης. Η κεντρική οθόνη αποτελείται από τις ακόλουθες περιοχές:



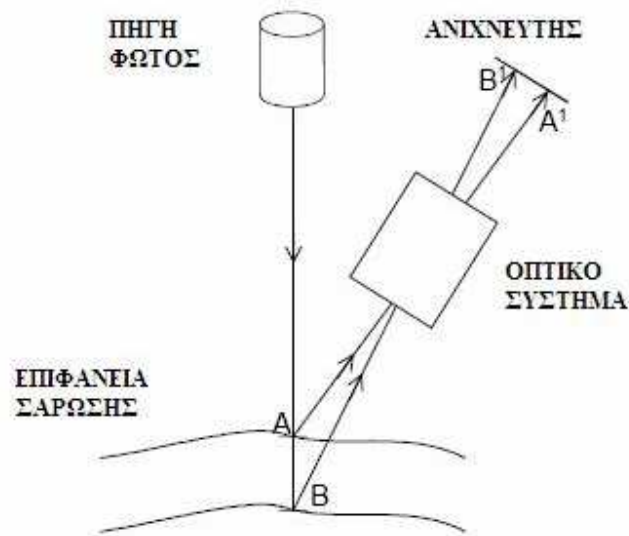
Εικόνα Π.3 Κεντρική οθόνη

Π.1.3 Η θεωρία πίσω από το WIZProbe

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η θεωρία πάνω στην οποία στηρίζεται η λειτουργία του WIZprobe laser σαρωτή. Γίνεται σύντομη αναφορά σε δύο μεθόδους τριγωνοποίησης, οι οποίες συνδυάστηκαν για τη λειτουργία αυτού.

Π.1.3.1 Η βασική μέθοδος τριγωνοποίησης

Στη βασική μέθοδο τριγωνοποίησης μια ακτίνα laser εστιάζεται στο στόχο και το ανακλώμενο φως απεικονίζεται από ένα οπτικό σύστημα σε ένα ευαίσθητο ανιχνευτή. Η θέση της εικόνας στον ανιχνευτή συσχετίζεται με την απόσταση της επιφάνειας από τον αισθητήρα. Η ακτίνα laser χτυπάει στην επιφάνεια στο σημείο A και η ανακλώμενη ακτίνα εστιάζεται στο σημείο A₁ στον ανιχνευτή. Το ίδιο συμβαίνει και για τα σημεία B και B₁. Η βασική μέθοδος τριγωνοποίησης λειτουργεί με ένα μικρό και αποτελεσματικό διάγραμμα εξαιτίας της μονοδιάστατης φύσης του συστήματος. Η συγκεκριμένη μέθοδος επηρεάζεται άμεσα από την ποιότητα της επιφάνειας, το χρώμα και τη γωνία της ακτίνας. Κατά τη χρήση αυτής της μεθόδου, οι συγκεκριμένοι παράγοντες οδηγούν στη μείωση της ακρίβειας των μετρήσεων.

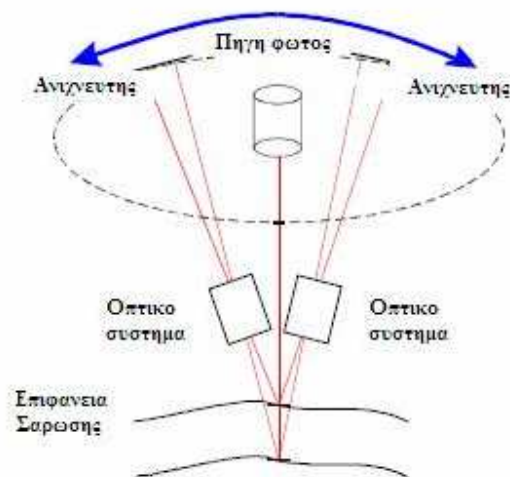


Εικόνα Π.4 Βασική μέθοδος τριγωνοποίησης

Π.1.3.2 Ενισχυμένη μέθοδος τριγωνοποίησης

Η ενισχυμένη μέθοδος τριγωνοποίησης χρησιμοποιεί πολλαπλούς οπτικούς αισθητήρες, ώστε να δειγματοληπτείται ο στόχος από διαφορετικές γωνίες. Η ακρίβεια βελτιώνεται προσθέτοντας ανιχνευτές στο σύστημα. Γενικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός

των ανιχνευτών, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια των μετρήσεων. Αυτή η τεχνική ξεπερνάει πολλούς από τους περιορισμούς της βασικής μεθόδου, συλλέγοντας δεδομένα από πολλές γωνίες. Παρόλα αυτά, η μέθοδος είναι πολύπλοκη και ακριβή στην εφαρμογή της, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των ανιχνευτών και οπτικών στοιχείων που χρησιμοποιεί.



Εικόνα Π.5 Ενισχυμένη μέθοδος τριγωνοποίησης

Π.1.3.3 Η WIZprobe μέθοδος

Το WIZprobe λειτουργεί με μια πατενταρισμένη τεχνολογία και ένα ολοκληρωμένο πακέτο λογισμικού. Αυτή η μέθοδος ισοδυναμεί με τη χρήση ενός άπειρου αριθμού ανιχνευτών. Περιλαμβάνει όλα τα πλεονεκτήματα της ενισχυμένης μεθόδου και ακόμα περισσότερα. Οι διδιάστατες εικόνες ανιχνεύονται σε μια CCD περιοχή και αναλύονται σε πραγματικό χρόνο. Επιπροσθέτως, το WIZprobe διαθέτει χαρακτηριστικά προσαρμοσμένου ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, που επιτρέπουν στον αισθητήρα να προσαρμόζεται αυτόματα σε διαφορετικά υλικά, χρώματα και επιφάνειες, ρυθμίζοντας απλώς τις παραμέτρους του laser και της CCD.

Π.1.4 ΟΔΗΓΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Για την πραγματοποίηση μιας σάρωσης πρέπει να οριστούν τα παρακάτω:

- Το “tip”
- Το πλαίσιο (fixture)
- Το νέφος

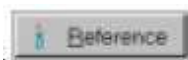
Ο ορισμός τους θα αναλυθεί διεξοδικά στις παραγράφους που ακολουθούν.

II.1.4.1 Βαθμονομώντας “Tips”

Για τη λήψη ενός πλήρους τρισδιάστατου νέφους σημείων, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν μία ή περισσότερες σαρώσεις του αντικειμένου με τον αισθητήρα τοποθετημένο σε διάφορους προσανατολισμούς. Κάθε ένας από τους προσανατολισμούς ονομάζεται “tip”. Κάθε “tip” πρέπει να ορίζεται και να βαθμονομείται ώστε η μηχανή να παράγει τα νέφη σημείων με ακρίβεια. Η διαδικασία βαθμονόμησης περιλαμβάνει τη βαθμονόμηση ενός “tip” αναφοράς και στη συνέχεια τη βαθμονόμηση των ειδικών “tips” που απαιτούνται για τη σάρωση.

II.1.4.1.α Βαθμονομώντας “tip” αναφοράς

- Εφαρμογή της ράβδου βαθμονόμησης των “Tips” με ασφάλεια πάνω στο τραπέζι μετρήσεων
- Επιλογή του φακέλου “tip” από τους φακέλους εργαλείων και κλικάρισμα



.Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου “Tip calibration”.



Εικόνα II.6 Βαθμονόμηση “tip” αναφοράς

- Μετακίνηση του αισθητήρα ακριβώς πάνω από τη σφαίρα της ράβδου βαθμονόμησης των “tips” και ρύθμιση της περιστρεφόμενης κεφαλής ώστε

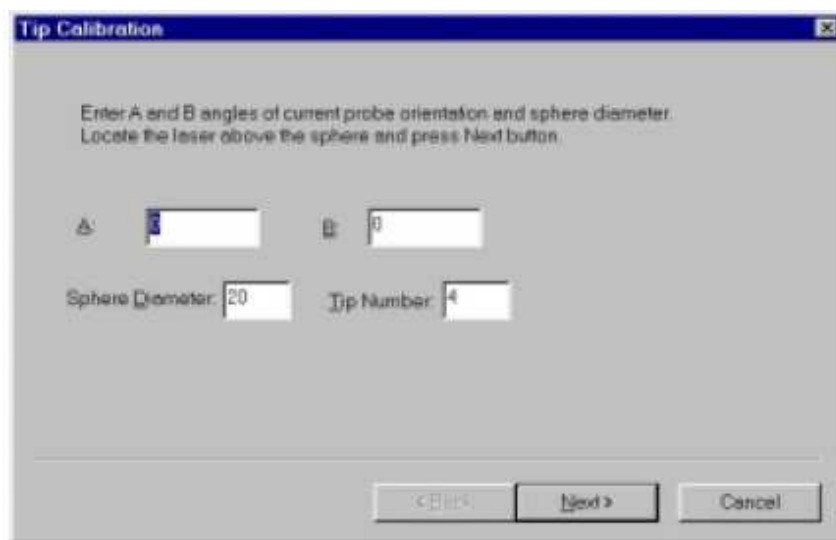
A=0, B=90. Ρύθμιση του ύψους του αισθητήρα ώστε ένα από τα τρία πράσινα LED να είναι αναμμένο.

- Κλικάρισμα “Next” και “Finish” όταν η μηχανή τελειώσει τη σάρωση της σφαίρας

II.1.4.1.β Βαθμονομώντας ένα νέο “Tip”

Μετά τη βαθμονόμηση του “tip” αναφοράς , είναι δυνατή η βαθμονόμηση επιπρόσθετων “tips”

- Μετακίνηση του αισθητήρα σε θέση πάνω από τη σφαίρα της ράβδου βαθμονόμησης και ρύθμιση της περιστρεφόμενης κεφαλής σε ένα καινούριο “tip” διαφορετικό από A=0, B=90. Η κεφαλή ασφαρίζεται σε επαναλαμβανόμενα διαστήματα των 7.5°
- Επιλογή του φακέλου “Tip” από τους φακέλους εργαλείων και κλικάρισμα “New tip”

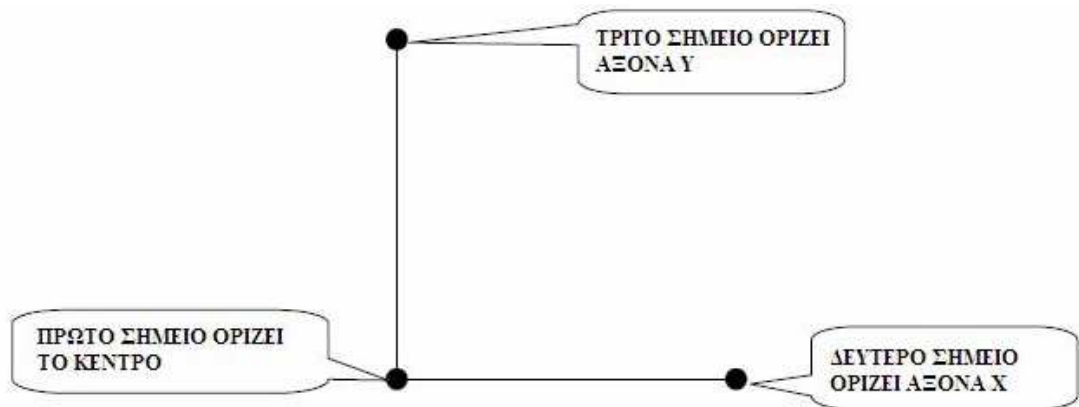


Εικόνα II.7 Βαθμονόμηση νέων “tips”

- Τοποθέτηση των συντεταγμένων της περιστρεφόμενης κεφαλής στις θέσεις A και B και εισαγωγή της διαμέτρου της σφαίρας.
- Κλικάρισμα “Next” και “Finish” όταν τελειώσει η σάρωση της σφαίρας

Π.1.4.2 Βαθμονομώντας το πλαίσιο (fixture)

Το πλαίσιο επιτρέπει τη μετακίνηση του αντικειμένου και συγχρόνως του συστήματος συντεταγμένων μαζί με αυτό. Έχει τρεις σφαίρες προσαρμοσμένες πάνω του. Οι αποστάσεις μεταξύ των σφαιρών είναι διαφορετικές. Καταρχήν το αντικείμενο προσαρτάται στο πλαίσιο και στη συνέχεια αυτό πρέπει να βαθμονομηθεί πριν χρησιμοποιηθεί. Η περιοχή μεταξύ των δύο σφαιρών είναι ο X άξονας, ενώ η απόσταση με την απέναντι σφαίρα ορίζει τον Y άξονα, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα Π.8 Ορισμός πλαισίου

Όσο το αντικείμενο μέσα στο πλαίσιο δεν μετακινείται, μπορεί το πλαίσιο να χρησιμοποιηθεί για επιρόσθετες μετρήσεις επαναβαθμονομώντας το. Η μηχανή αυτόματα “θυμάται” τους άξονες. Ακολουθεί η περιγραφή του τρόπου βαθμονόμησης ενός νέου πλαισίου:

- Επιλογή “Fixture” από Utilities tabs και κλικάρισμα 



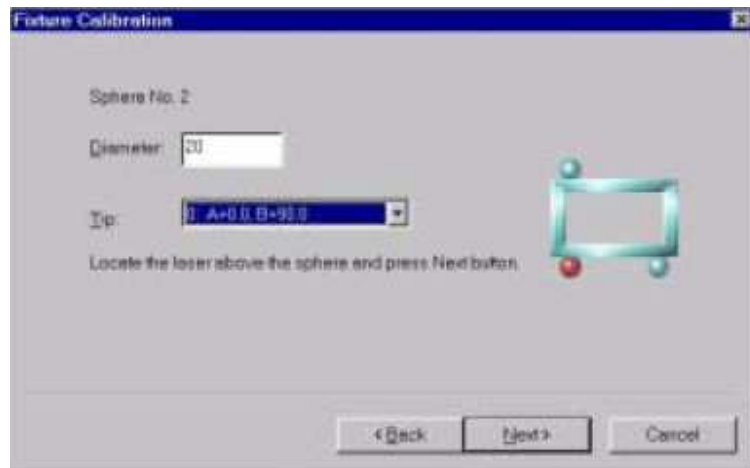
Εικόνα Π.9 Εισαγωγή ονόματος πλαισίου

- Εισαγωγή ονόματος “Fixture”



Εικόνα Π.10 Εισαγωγή διαμέτρου σφαίρας

- Εισαγωγή διαμέτρου της σφαίρας και επιλογή του “tip” από το “Tip Box”. Μετακίνηση του αισθητήρα ακριβώς πάνω από την πρώτη σφαίρα και ρύθμιση του ύψους, ώστε ένα από τα εσωτερικά LED να είναι αναμμένο.
- Κλικάρισμα “Next” και άνοιγμα του dialog box για τη σφαίρα 2 του πλαισίου, με τη σφαίρα 1 σε κόκκινο χρώμα υποδεικνύοντας την επιτυχία της βαθμονόμησης.



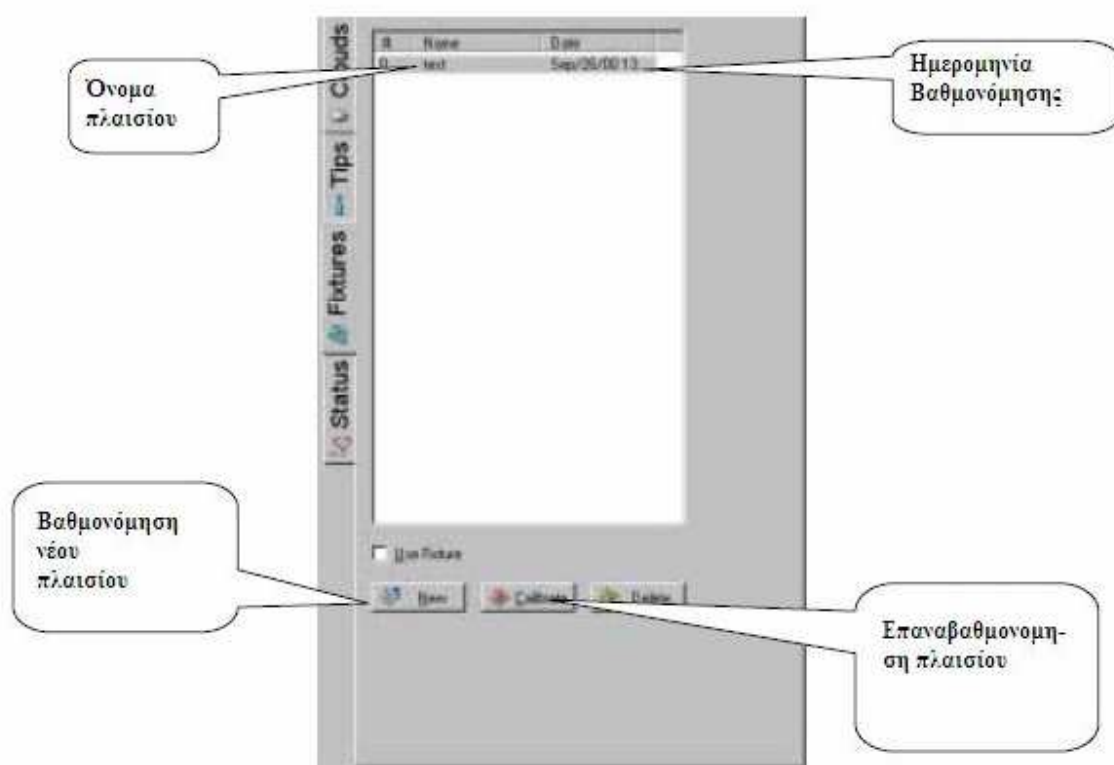
Εικόνα Π.11 Επιτυχία βαθμονόμησης πρώτης σφαίρας

- Επανάληψη της ίδιας διαδικασίας για τις άλλες δυο σφαίρες
- Κλικάρισμα “Finish” με το πέρας της σάρωσης όλων των σφαιρών



Εικόνα Π.12 Επιτυχία βαθμονόμησης των τριών σφαιρών

Επιλέγοντας “Fixture” από τους φακέλους λειτουργιών, εμφανίζονται στην κεντρική οθόνη όλα τα στοιχεία του πλαισίου, όπως φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα.



Εικόνα Π.13 Στοιχεία πλαισίου

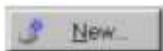
Π.1.5 Δουλεύοντας με τα νέφη

Το νέφος σημείων είναι ένα σύνολο από δεδομένα, τα οποία ορίζονται από τα ακόλουθα στοιχεία :

- Όνομα του νέφους
- Χρώμα του νέφους
- “Tip”
- Πλαίσιο (αν χρησιμοποιείται)
- Σχέδιο σάρωσης
- Ορισμός διαδρομής
- Ανάλυση σάρωσης
- Πλευρική ανάλυση σάρωσης

Π.1.5.1 Ορίζοντας ένα νέο νέφος

Επιλογή του φακέλου “Clouds” από τους φακέλους εργαλείων και κλικάρισμα



Ανοίγει ο πίνακας επιλογών του νέφους :



Εικόνα Π.14 Πίνακας επιλογών νεφους

- Εισαγωγή του ονόματος του νέου νέφους. Μετά την εισαγωγή του ονόματος ένα εμφανίζεται στο κουτί επιβεβαίωσης.
- Επιλογή χρώματος για το νέφος σημείων.
- Επιλογή του “tip” από τη λίστα. Μετά την επιλογή του “tip” ένα εμφανίζεται στο κουτί επιβεβαίωσης.
- Στην περιοχή του Fixture, επιλογή του “Not in use” σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται το πλαίσιο και επιλογή “Use” εάν χρησιμοποιείται. Μετά την επιλογή εμφανίζεται ένα στο κουτί επιβεβαίωσης.

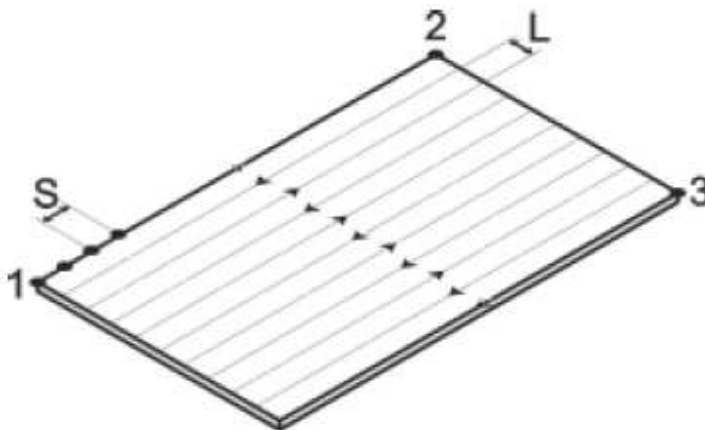
II.1.5.2 Επιλογή σχεδίου σάρωσης

Υπάρχουν πέντε διαθέσιμα σχέδια σάρωσης κατά τον ορισμό του νέφους. Κάθε σχέδιο πραγματοποιεί τη σάρωση με το δικό του τρόπο. Τα σχέδια σάρωσης είναι τα εξής:

- Ορθογωνικό (Rectangle)
- Τόξο (Arc)
- Απλή γραμμή (Polyline)
- Ευρεία γραμμή (Wideline)
- Πολυγωνικό (Polygon)

II.1.5.2.α Ορθογωνικό σχέδιο Rectangle

Επιλογή τριών σημείων για τον ορισμό της περιοχής σάρωσης. Το συγκεκριμένο σχέδιο σαρώνει από το σημείο 1 στο σημείο 2 και συνεχίζει τη σάρωση μέχρι το σημείο 3 όπως φαίνεται στο σχήμα. Η απόσταση S αναφέρεται στην ανάλυση της σάρωσης ενώ η απόσταση L αναφέρεται στην πλευρική ανάλυση της σάρωσης.

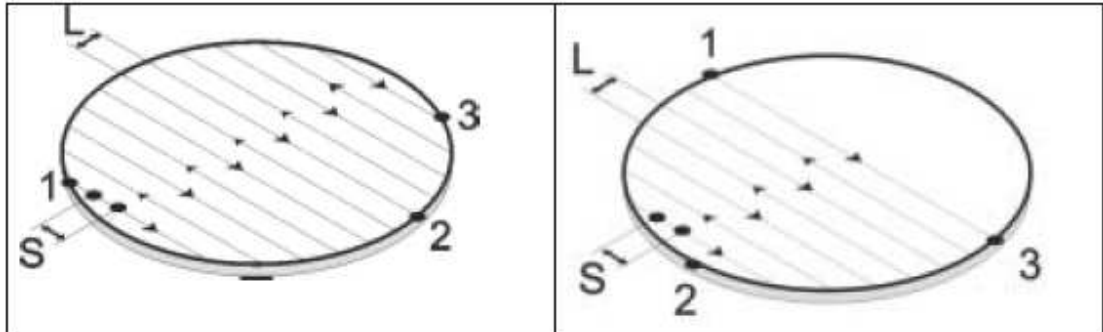


Εικόνα II.15 Ορθογωνικό σχέδιο

II.1.5.2.β Σχέδιο Τόξου Arc

Το σχέδιο τόξου περιλαμβάνει δύο επιλογές: σάρωση κύκλου ή σάρωση τόξου. Και οι δύο επιλογές χρειάζονται τρία σημεία για τον ορισμό της επιφάνειας σάρωσης. Η επιλογή του

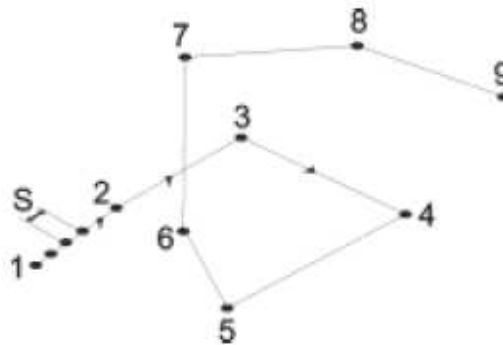
κύκλου σαρώνει όλο το εμβαδό του κύκλου που ορίζεται από τα τρία σημεία. Η επιλογή του τόξου σαρώνει ένα τμήμα μόνο του κύκλου όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Εικόνα II.16 Σχέδιο τόξου

II.1.5.2.γ Σχέδιο απλής γραμμής ✓ Polyline

Το σχέδιο απλής γραμμής περιλαμβάνει δύο ή περισσότερα σημεία. Αυτό το σχέδιο σαρώνει από το σημείο 1 στο σημείο 2, στο σημείο 3 κ.ο.κ. Δεν υπάρχει ανάλυση εγκάρσιας σάρωσης στο συγκεκριμένο σχέδιο.

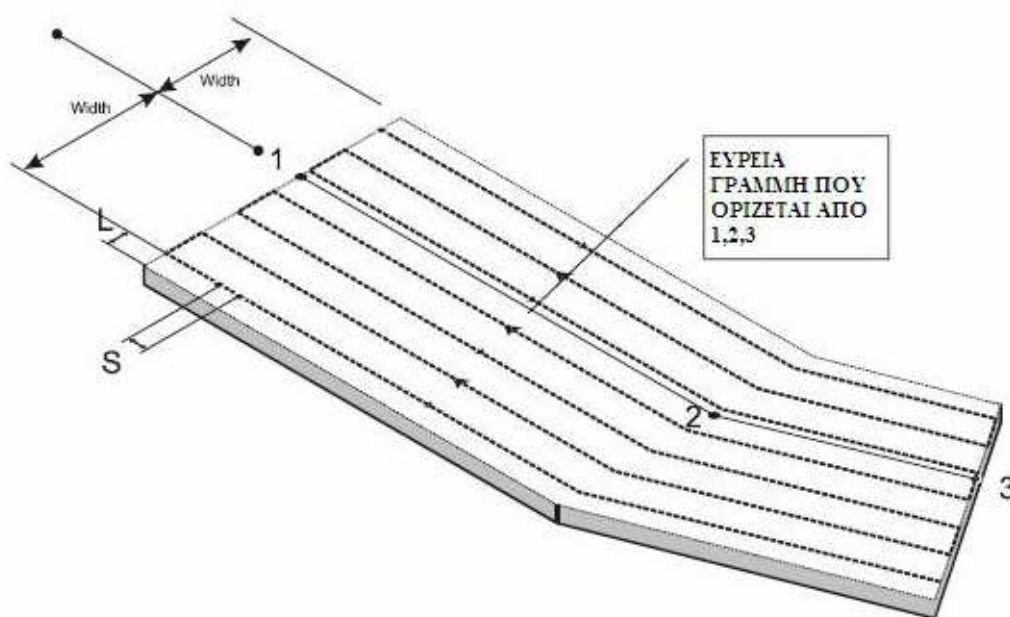


Εικόνα II.17 Σχέδιο απλής γραμμής

II.1.5.2.δ Σχέδιο ευρείας γραμμής ✓ Wide Line

Το σχέδιο ευρείας γραμμής περιλαμβάνει δύο ή περισσότερα σημεία. Εισάγεται το πλάτος της υπό σάρωσης περιοχής στο κουτί πλάτους. Το πλάτος πρέπει να είναι από 0.015 mm και πάνω. Ο τρόπος σάρωσης αυτού του σχεδίου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Εάν

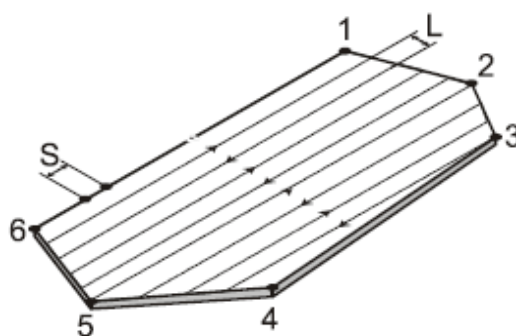
υπάρχει στο σχέδιο γωνία μεγαλύτερη από 180° μεταξύ τριών διαδοχικών σημείων, τότε η σάρωση δε θα πραγματοποιηθεί. Το σχέδιο ευρείας γραμμής αποτελείται από δύο ή περισσότερα σημεία.



Εικόνα Π.18 Σχέδιο ευρείας γραμμής

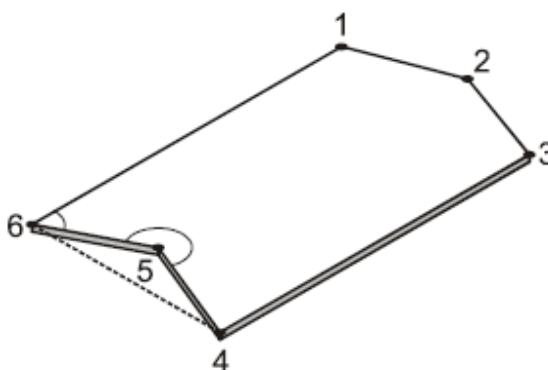
Π.1.5.2.ε Πολυγωνικό σχέδιο

Το πολυγωνικό σχέδιο περιλαμβάνει τρία ή περισσότερα σημεία. Το συγκεκριμένο σχέδιο πραγματοποιεί τη σάρωση από το πρώτο σημείο στο τελευταίο σημείο και συνεχίζει όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα. Τα σημεία πρέπει να σχηματίζουν μια κλειστή περιοχή χωρίς την ύπαρξη γωνίας πάνω από 180° . Εάν υπάρχει γωνία πάνω από 180° , η σάρωση δε θα πραγματοποιηθεί.



Εικόνα Π.19 Πολυγωνικό σχέδιο



Στην εικόνα Π.20 φαίνεται ένα πολυγωνικό σχέδιο που δε δύναται να πραγματοποιηθεί



Εικόνα Π.20 Μη αποδεκτό πολυγωνικό σχέδιο

Π.1.5.3 Καθορισμός της περιοχής σάρωσης

Δύο μέθοδοι προσφέρονται για τον ορισμό των σημείων που χρειάζονται για τον καθορισμό της περιοχής σάρωσης.

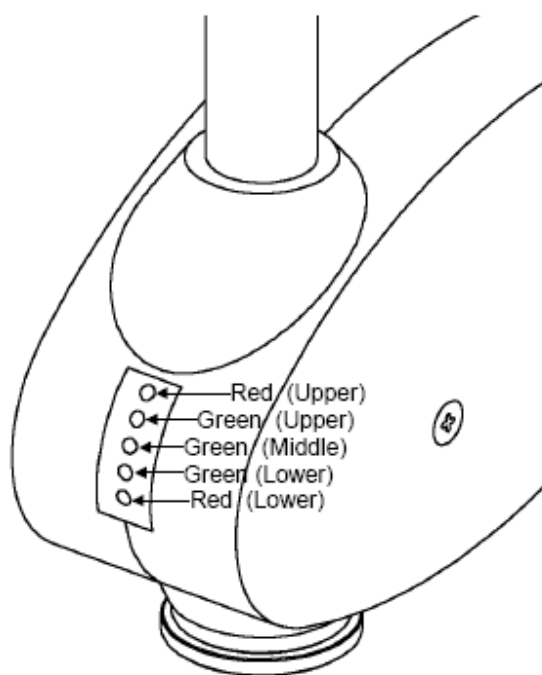
- Η μέθοδος της “αρπαγής” (snap)  χρησιμοποιώντας το χειριστήριο
- Η μέθοδος της οθόνης 

Οι δύο αυτές μέθοδοι αναλύονται στις παραγράφους που ακολουθούν.


II.1.5.3.α Μέθοδος “αρπαγής”

Για τον ορισμό της γραμμής σάρωσης για ένα καινούριο νέφος χωρίς την ύπαρξη ενός προηγούμενου νέφους, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Μετακίνηση του αισθητήρα πάνω από την επιθυμητή θέση για την έναρξη της σάρωσης, χρησιμοποιώντας το χειριστήριο.
- Περιστροφή του χειριστηρίου δεξιά για να ανυψωθεί ο αισθητήρας και αριστερά για να χαμηλώσει. Παρατηρούνται τα LED, κατά τη διαδικασία αυτή, μέχρι να βρεθεί ο αισθητήρας σε μια επιτρεπόμενη θέση. Τα κόκκινα LED δείχνουν θέσεις έξω από το πεδίο μετρήσεων. Τα τρία εσωτερικά πράσινα LED δείχνουν επιτρεπόμενες θέσεις, με το κεντρικό πράσινο να δείχνει την βέλτιστη απόσταση του αισθητήρα από το αντικείμενο. Τα LED φαίνονται στην πιο κάτω εικόνα:

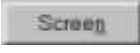


Εικόνα II.21 LED κεφαλής

- Κλικάρισμα  . Το σημείο #1 εμφανίζεται στη λίστα σημείων της περιοχής σάρωσης (Scanning Area Points List) με τις X, Y και Z συντεταγμένες του.
- Επανάληψη των παραπάνω βημάτων για το σημείο #2 και όλα τα πρόσθετα σημεία.

II.1.5.3.β Μέθοδος οθόνης

Για τη σάρωση ενός καινούριου νέφους το οποίο θα βασίζεται σε ένα προηγούμενο σαρωμένο νέφος, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία.

- Κλικάρισμα  . Ο κέρσορας εμφανίζεται σαν ένα κινούμενο χέρι στην περιοχή παρουσίασης (display area) των δεδομένων.
- Μετακίνηση του σημείου έναρξης από την περιοχή παρουσίασης στη λίστα σημείων της περιοχής σάρωσης. Το σημείο #1 εμφανίζεται στη λίστα σημείων της περιοχής σάρωσης (Scanning Area Points List) με τις X, Y και Z συντεταγμένες του.
- Επανάληψη του παραπάνω βήματος για τον ορισμό του σημείου Repeat #2 και των υπόλοιπων πρόσθετων σημείων.



II.1.5.4 Ορίζοντας μια διαδρομή

Κατά τη διάρκεια της σάρωσης, ο αισθητήρας μετακινείται στο πρώτο σημείο κατά μήκος της πιο σύντομης διαδρομής. Στη σάρωση ενός τρισδιάστατου αντικείμενου υπάρχει ο κίνδυνος σύγκρουσης του αισθητήρα με το αντικείμενο, ειδικά όταν σαρώνονται ομάδες νεφών στη σειρά. Για την αποφυγή τέτοιων πιθανών κινδύνων, μπορεί να οριστεί μια διαδρομή για τον αισθητήρα, το οποίο θα επιτρέψει σε αυτόν να μετακινείται με ασφάλεια στο πρώτο σημείο. Η διαδικασία ορισμού της διαδρομής είναι η εξής:

- Κλικάρισμα του “Path”... Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου “Path Definition” για τον ορισμό της διαδρομής:




Εικόνα Π.22 Ορισμός διαδρομής

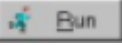
- Μετακίνηση του αισθητήρα στο πρώτο σημείο και κλικάρισμα . Το σημείο #1 εμφανίζεται στη λίστα σημείων διαδρομής με τις X, Y και Z συντεταγμένες του.
- Μετακίνηση του αισθητήρα ακριβώς πάνω από την περιοχή σάρωσης και κλικάρισμα  ξανά, ώστε να εμφανιστεί το σημείο #2 στη λίστα σημείων διαδρομής με τις X, Y και Z συντεταγμένες του.
- Κλικάρισμα OK για αποδοχή της διαδρομής.

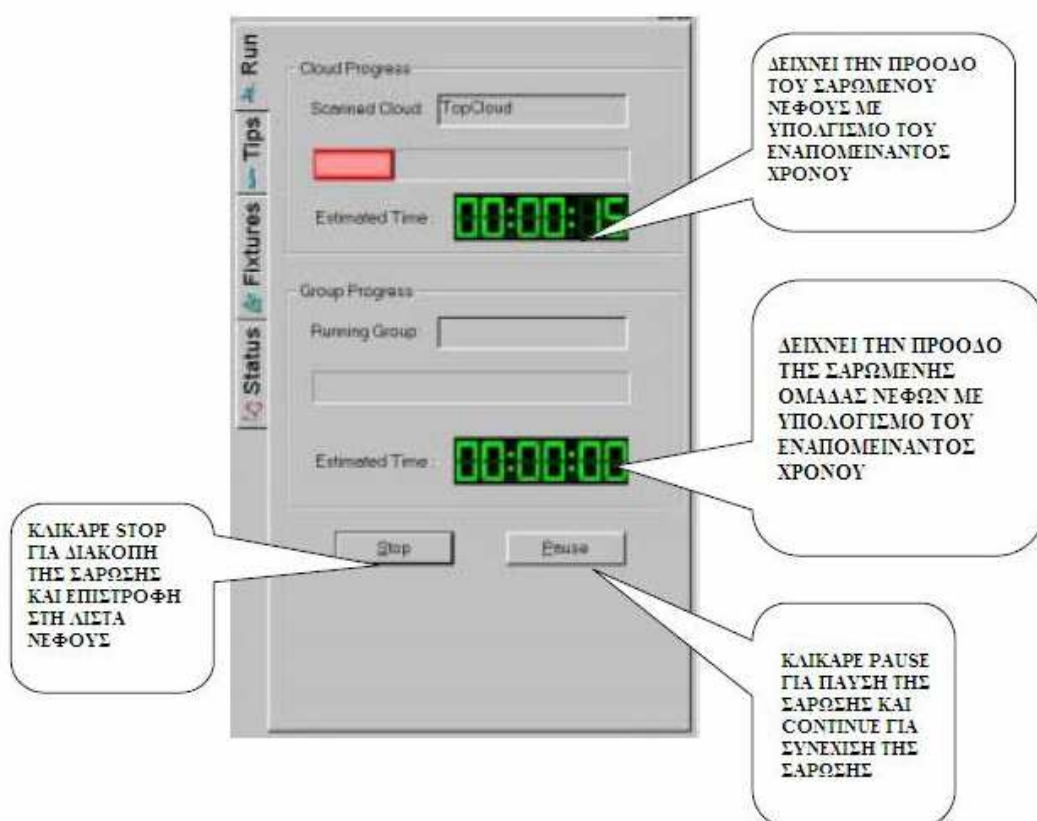
Π.1.5.5 Καθορισμός της ανάλυσης σάρωσης

Η ανάλυση ορίζει τα διαστήματα κατά τα οποία θα μετράει συντεταγμένες η μηχανή. Υψηλής ανάλυσης σαρώσεις παράγουν λεπτομερέστερα νέφη σημείων, αλλά χρειάζονται περισσότερο χρόνο για την πραγματοποίησή τους.

- Εισαγωγή ενός αριθμού μεταξύ 0.01 και 0.3 mm στο πεδίο διαμήκους ανάλυσης (Scan Resolution field).
- Εισαγωγή ενός αριθμού μεταξύ 0.03 και 1 mm στο πεδίο εγκάρσιας ανάλυσης (Lateral Resolution field).
- Μετά την είσοδο των αριθμών, ένα  εμφανίζεται στο κουτί επιβεβαίωσης.

Στο συγκεκριμένο σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι η περίοδος δειγματοληψίας του αισθητήρα είναι συνεχής, και σε περίπτωση που ο αισθητήρας μετακινηθεί κατά μια μεγάλη απόσταση μεταξύ δύο δειγματοληψιών, μπορεί να μη σαρώσει με ακρίβεια το αντικείμενο. Γι' αυτό θα πρέπει το αντικείμενο να σαρωθεί με υψηλή ανάλυση, ώστε να μετακινείται ο αισθητήρας πιο αργά, εξασφαλίζοντας ότι δε θα χαθεί κανένα σημείο..

Με κλικάρισμα στο  ανοίγει το “Run Cloud” tab και ξεκινάει η σάρωση.




Εικόνα Π.23 Επιλογές νέφους

Π.1.6 Ομάδες νεφών

Στην παράγραφο αυτή αναλύεται ο τρόπος δημιουργίας ομάδας νεφών και πώς μπορούν αυτά να οργανωθούν μέσα στην ομάδα, ανάλογα με τις απαιτήσεις της σάρωσης.


Π.1.6.1 Δημιουργία ομάδας νεφών

Εξαιτίας του μεγέθους ή του σχήματος ενός αντικειμένου, δεν είναι πάντα εφικτή η σάρωση ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας μόνο ένα νέφος. Επιπρόσθετα η χρησιμοποίηση των ομάδων νεφών μπορεί να χρησιμεύσει και στον τρόπο που αυτά εμφανίζονται. Το Hawk προσφέρει μια επιλογή παρουσίασης των τελικών δεδομένων, συνθέτοντας τα νέφη σημείων:

- Κλικάρισμα  από το “Clouds Tab” και επιλογή “New Group”.
- Κλικάρισμα στο “New group name” και εισαγωγή ονόματος στην ομάδα.
- Μετακίνηση των νεφών από τη λίστα νεφών στην ομάδα. Όλα τα νέφη στην ομάδα θα εμφανιστούν με τις ίδιες παραμέτρους.

Π.1.6.2 Ρύθμιση των νεφών στην ομάδα

Τα νέφη σε μια ομάδα σαρώνονται ανάλογα με τη θέση τους στη λίστα. Η ρύθμισή τους γίνεται ως εξής:

- Κλικάρισμα  δίπλα από το όνομα της ομάδας στη λίστα νεφών για να εμφανιστούν τα νέφη μέσα στην ομάδα.
- Μετακίνηση των νεφών μέσα στην ομάδα για τον ορισμό της επιθυμητής σειράς σάρωσης.

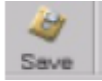
Π.1.6.3 Σάρωση της ομάδας

Η σάρωση της ομάδας των νεφών πραγματοποιείται όπως σε ένα απλό νέφος. Παρόλα αυτά, διαφορετικά νέφη στην ομάδα μπορεί να χρησιμοποιούν διαφορετικά “tips”. Μόλις η σάρωση φτάσει στο νέφος που απαιτεί διαφορετικό “tip”, θα σταματήσει για χειροκίνητη ρύθμιση του αισθητήρα στις γωνίες του καινούριου “tip”. Η σάρωση θα συνεχιστεί με τις νέες ρυθμίσεις.

Πριν την έναρξη της σάρωσης του νέφους, πρέπει να εξασφαλιστεί ότι δε θα υπάρχει σύγκρουση του αισθητήρα με το αντικείμενο κατά τη μετακίνηση από το ένα νέφος στο άλλο. Για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων προτείνεται η χρήση διαδρομών, όπως αυτές αναλύθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.

Π.1.7 Αποθήκευση και εξαγωγή νεφών

Για την αποθήκευση ενός νέου νέφους, επιλογή “Save As” από το “File” μενού. Το νέφος αποθηκεύεται σε ένα αρχείο με κατάληξη .hcd.

Για την αποθήκευση ενός υπάρχοντος νέφους, κλικάρισμα  από τις επιλογές της κεντρικής οθόνης.

Για την εξαγωγή ενός νέφους, κλικάρισμα “Export” από τη λίστα νεφών και επιλογή ενός από τα ακόλουθα format:

- Δεδομένα χωρισμένα με κόμμα (a text file)
- Δεδομένα χωρισμένα με Tab (a text file)
- Δεδομένα χωρισμένα με κενό (a text file)
- STL
-

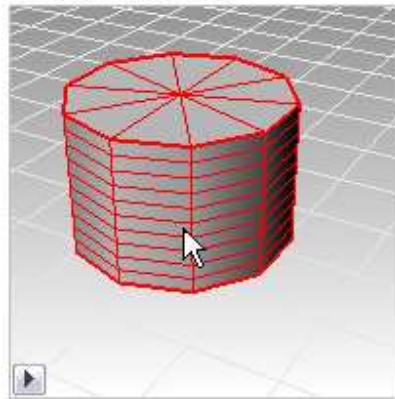
Π.2 Λογισμικό Rhinoceros

Με την ολοκλήρωση της σάρωσης, τα νέφη σημείων εισάγονται στο λογισμικό για επεξεργασία, μέχρι τη δημιουργία του στερεού μοντέλου. Τα λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί είναι το Rhinoceros στο οποίο γίνεται η βασική επεξεργασία των νεφών που καταλήγει στη δημιουργία ενός κλειστού πλέγματος. Το Rhinoceros, στη βασική του έκδοση, δεν μπορεί να μετατρέψει το κλειστό πλέγμα σε στερεό. Παρόλα αυτά, υπάρχει ένα πρόσθετο υποπρόγραμμα (plug-in) από την κατασκευάστρια εταιρεία του Rhinoceros, τη Sycode, η οποία δίνει τη δυνατότητα σε αυτό, να μετατρέπει τα κλειστά πλέγματα σε στερεά. Το υποπρόγραμμα αυτό ονομάζεται Mesh To Solid.

Θα γίνει παρουσίαση όλων των βασικών εντολών που χρησιμοποιήθηκαν μέχρι τη δημιουργία του στερεού μοντέλου:

- **MeshFromPoints:** Η εντολή αυτή δημιουργεί ένα πολυγωνικό mesh από ένα νέφος σημείων. Έχει παραμέτρους το `SamplingDensityPlusNoise` το οποίο ρυθμίζει την απόσταση των παρακείμενων σημείων στο νέφος και το `NumofContouringGridCells`, το οποίο είναι το μέγεθος των marching cubes.
- **Render:** Η εντολή `Render` παράγει μια παρουσίαση του αντικειμένου σε ένα διαφορετικό παράθυρο, για λεπτομερέστερο έλεγχο του.
- **MeshCylinder:** Η εντολή αυτή δημιουργεί έναν πολυγωνικό κύλινδρο με παραμέτρους το `VerticalFaces`, το οποίο καθορίζει τον αριθμό των faces από τη βάση του κυλίνδρου μέχρι την κορυφή και το `AroundFaces`, το οποίο καθορίζει τον αριθμό των faces γύρω από την περιφέρεια του κυλίνδρου

MeshCylinder

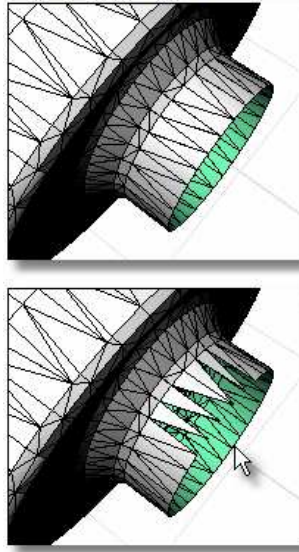


Εικόνα II.24 Εντολή MeshCylinder

Η συγκεκριμένη εντολή αναφέρεται, γιατί θα χρησιμοποιηθεί στη δημιουργία των μεταλλικών αντικειμένων

- **MeshPlane:** Η εντολή αυτή δημιουργεί ένα ορθογωνικό πολυγωνικό πλέγμα που ορίζεται από δύο γωνίες, με παράμετρο το `XFaces/YFaces` που καθορίζουν τον αριθμό των faces κατά την X και Y διεύθυνση, αντίστοιχα. Η συγκεκριμένη εντολή θα χρησιμοποιηθεί στη δημιουργία επίπεδων επιφανειών για το κλείσιμο των meshes.
- **MeshTrim:** Η συγκεκριμένη εντολή διαγράφει το επιλεγμένο εσωτερικό ή εξωτερικό τμήμα ενός πλέγματος που διασταυρώνεται με ένα άλλο πλέγμα ή επιφάνεια.
- **DeleteMeshFaces:** Η συγκεκριμένη εντολή διαγράφει τα επελεγμένα mesh faces από το πλέγμα, δημιουργώντας μια τρύπα, η οποία βοηθάει στην εκκαθάριση και επιδιόρθωση του πλέγματος για ταχεία προτυποποίηση.

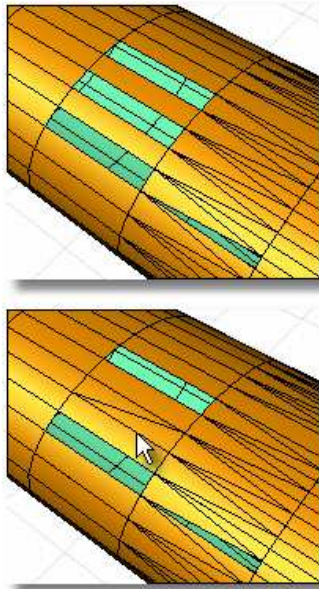
DeleteMeshFaces



Εικόνα II.25 Εντολή DeleteMeshFaces

- FillMeshHole: Η εντολή αυτή γεμίζει την επιλεγμένη τρύπα, βοηθώντας στην εκκαθάριση και επιδιόρθωση του πλέγματος για ταχεία προτυποποίηση. Ο χειριστής επιλέγει μια από τις άκρες της τρύπας και το πρόγραμμα ψάχνει γύρω από την επιλεγμένη άκρη και επιχειρεί τη δημιουργία ενός κλειστού συνόρου για να γεμίσει.

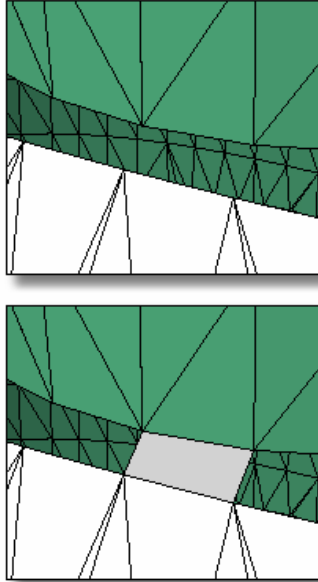
FillMeshHole



Εικόνα II.26 Εντολή FillMeshHole

- **PatchSingleFace:** Η εντολή αυτή γεμίζει μια τρύπα στο πλέγμα με ένα και μοναδικό mesh face, το οποίο βοηθάει στην ταχεία προτυποποίηση. Ο χειριστής επιλέγει δύο άκρες της τρύπας και το πρόγραμμα δημιουργεί ένα face το οποίο συνενώνεται με το αρχικό πλέγμα.

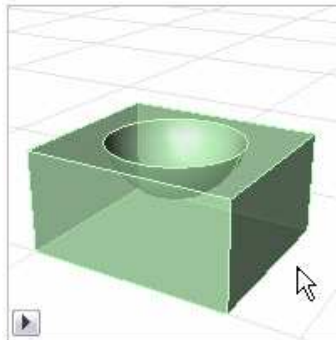
PatchSingleFace



Εικόνα II.27 Εντολή PatchSingleFace

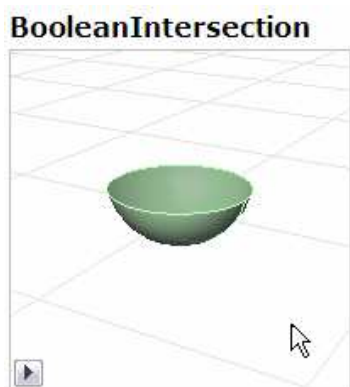
- **MeshBooleanDifference:** Διαγράφει τις κοινές περιοχές των επιλεγμένων πλεγμάτων ή επιφανειών με ένα άλλο σύνολο από πλέγματα ή επιφάνειες.

BooleanDifference



Εικόνα II.28 Εντολή MeshBooleanDifference

- **MeshBooleanIntersection:** Η εντολή αυτή διαγράφει τις μη μοιραζόμενες περιοχές των επιλεγμένων πλεγμάτων ή επιφανειών



Εικόνα II.29 Εντολή MeshBooleanIntersection

- MeshToNurb: Μετατρέπει κάθε face του πλέγματος σε μια NURB επιφάνεια. Πολύπλοκα πλέγματα θα δημιουργήσουν NURBS επιφάνειες οι οποίες θα έχουν υψηλές απαιτήσεις σε μνήμη. Επίσης, πλέγματα με πάνω από 20,000 faces δε μπορούν να μετατραπούν σε NURBS.
- MeshToSolid: Η συγκεκριμένη εντολή επεξεργάζεται το πλέγμα και καθορίζει τα χαρακτηριστικά που ορίζουν τη γεωμετρία του αντικειμένου. Στη συνέχεια δημιουργείται μια κομμένη (trimmed) NURBS επιφάνεια για μια ομάδα επιφανειών πλέγματος, η οποία ορίζει αθροιστικά ένα μορφολογικό χαρακτηριστικό. Τέλος, ενώνει όλες τις κομμένες NURBS επιφάνειες προκειμένου να σχηματίσει το τελικό στερεό μοντέλο. Το τελευταίο περιέχει πολύ λιγότερες επιφάνειες και μπορεί να διαχειριστεί ευκολότερα από το πρόγραμμα.

Προκειμένου για να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία κρίνεται απαραίτητη η χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Rhiniscrpt. Τονίζεται ότι το λογισμικό Rhinoceros, χρησιμοποιεί το Rhinoscript για εσωτερικό προγραμματισμό, δηλαδή οι υπορουτίνες που δημιουργούνται, χρησιμοποιούν εντολές οι οποίες υπάρχουν μέσα στο λογισμικό. Σε περίπτωση που χρειαστεί να προστεθούν δυνατότητες στο λογισμικό Rhinoceros, τότε χρειάζεται εξωτερικός προγραμματισμός, μέσω της vbScript η οποία στηρίζεται στη visual basic.

Τα scripts μπορούν να εκτελέσουν μαθηματικές ενέργειες, να αποκριθούν σε διάφορες συνθήκες και να επιτρέπουν αλληλεπίδραση με το χρήστη. Επίσης μπορούν να ελέγξουν τη ροή τους, γεγονός που τους δίνει τη δυνατότητα να συμπεριφέρονται δυναμικά. Το Rhinoceros 3D-Modeler χρησιμοποιεί την vbScript η οποία πρέπει να αντιμετωπίσει τα ακόλουθα προβλήματα: α) έλεγχο ροής, β) έλεγχο μεταβλητών, γ) εντολές εισόδου και εξόδου (αλληλεπίδραση με το χρήστη).

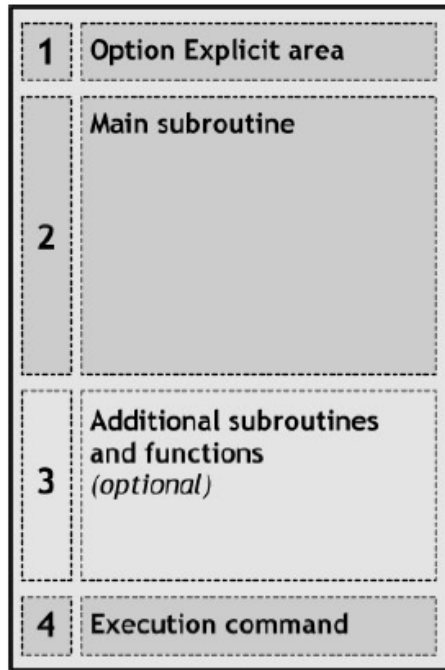
Ο έλεγχος ροής χρησιμοποιείται από τη vbScript για να ξεπεράσει συγκεκριμένες γραμμές του κώδικα ή για να πραγματοποιήσει άλλες περισσότερες από μια φορά. Χρησιμοποιείται επίσης για τη μεταπήδηση σε διαφορετικές γραμμές του script, ακόμα και για την πρόσθεση υποθετικών προτάσεων.

Οι μεταβλητές χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των δεδομένων ή στην πραγματοποίηση μαθηματικών πράξεων και λογικών λειτουργιών. Αυτό επιτρέπει στον κώδικα να είναι δυναμικός, ώστε να μπορεί να διαχειριστεί κάθε είδους διαφορετικές καταστάσεις. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μεταβλητών όπως οι long, οι double, οι boolean και οι string.

Οι long και οι double είναι αριθμητικές μεταβλητές, δηλαδή αποθηκεύουν αριθμούς. Χρησιμοποιούνται κυρίως για υπολογισμούς, μπορούν όμως να αναπαραστήσουν και γεωμετρίες. Η Long είναι μια 32bit μεταβλητή, η οποία μπορεί να αποθηκεύσει κάθε είδους ακέραιο αριθμό, αλλά όχι δεκαδικό. Η Double είναι και αυτή μια 32bit μεταβλητή, αλλά επειδή μπορεί να αποθηκεύσει τα δεδομένα με ένα διαφορετικό τρόπο, έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος και μπορεί να αποθηκεύσει σχεδόν οτιδήποτε. Οι Boolean μεταβλητές μπορούν να αποθηκεύσουν μόνο δύο τιμές, οι οποίες συνήθως αναφέρονται σε “yes” ή “no” και “true” ή “false”. Οι Boolean μεταβλητές χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση των διαφόρων καταστάσεων. Οι String μεταβλητές χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση αλφαριθμητικών δεδομένων, τα οποία είναι γνωστά και σαν κείμενο (text). Ξεκινάνε και τελειώνουν πάντα με εισαγωγικά. Δεν έχουν περιορισμό στο μήκος και δεν πραγματοποιούν υπολογισμούς. Η χρήση τους συνιστάται στην αποθήκευση πληροφοριών ή ονομάτων.

Τα scripts του Rhinoceros αποθηκεύονται σαν απλά text αρχεία, με την κατάληξη .rvb. Από τη στιγμή που αποθηκεύεται το script, μπορεί να τρέξει μέσα από το Rhinoceros.

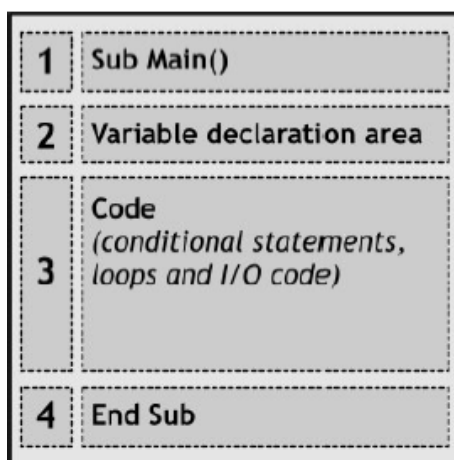
Τα vbScripts/rhinoScripts έχουν τη δομή που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα. Όπως φαίνεται, περιλαμβάνει τέσσερις περιοχές από τις οποίες η μία είναι προαιρετική.



Εικόνα Π.30 Δομή των Scripts

Στην περιοχή “Option Explicit” αναφέρονται βασικές λεπτομέρειες του προγράμματος που θα περιγράφουν σε γενικές γραμμές τη χρησιμότητά του. Επίσης, όποτε εισάγεται η εντολή “Option Explicit”, το Rhinoceros ελέγχει αν οι μεταβλητές είναι σωστά ορισμένες. Χωρίς αυτήν την εντολή, είναι δύσκολη η εύρεση των λαθών.

Κάθε script χρειάζεται τουλάχιστον μια υπορουτίνα, πριν μπορέσει να κάνει οτιδήποτε. Αυτή η βασική υπορουτίνα ονομάζεται “Main” και ελέγχει όλο τον κώδικα. Η δομή μιας υπορουτίνας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα Π.31 Δομή των ρουτίνων

Πρώτα δηλώνεται η έναρξη μιας νέας υπορουτίνας, γράφοντας “sub”, ακολουθούμενο από ένα κενό και στη συνέχεια το όνομα της υπορουτίνας σε παρένθεση. Κατόπιν ορίζονται οι μεταβλητές. Στην περιοχή του ενεργού κώδικα αποθηκεύονται οι εντολές εισόδου/εξόδου, οι μαθηματικές πράξεις και οι διάφορες άλλες ενέργειες. Τέλος χρησιμοποιείται η εντολή “End Sub” για το τέλος της υπορουτίνας.

Τα περισσότερα scripts χρειάζονται μόνο μια υπορουτίνα. Παρόλα αυτά είναι πιθανό να οριστεί ένας απεριόριστος αριθμός από υπορουτίνες, εάν χρειάζονται.

Η “Execution Command” είναι η πρώτη εντολή που δίνεται στο Rhinoceros. Όποτε τρέχει ένα vbScript, το Rhinoceros διαβάζει όλο το περιεχόμενο και επιβεβαιώνει ότι δεν υπάρχουν λάθη. Όμως το Rhinoceros δε μπορεί να τρέξει αυτόματα μια υπορουτίνα. Γι’αυτό και εισάγεται η λέξη Main στο τέλος του script, ώστε να τρέξει η υπορουτίνα.

III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος σάρωσης των αντικειμένων και στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος επεξεργασίας τους στο Rhinoceros μέχρι τη δημιουργία του στερεού μοντέλου.

III.1 Περιγραφή σάρωσης των αντικειμένων

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται τα κεραμικά και μεταλλικά αντικείμενα που σαρώθηκαν, ενώ θα δοθεί έμφαση στον τρόπο σάρωσης του κάθε αντικειμένου αναλόγως με τις εκάστοτε ιδιαιτερότητες. Σαρώθηκαν οχτώ κεραμικά αντικείμενα και δύο μεταλλικά. Από τα αντικείμενα αυτά θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα δύο μεταλλικά και τρία από τα οχτώ κεραμικά, τα οποία αντιπροσωπεύουν ξεχωριστές περιπτώσεις το καθένα και γι'αυτό χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι σάρωσης. Τα υπόλοιπα πέντε κεραμικά παρουσιάζονται στο παράρτημα, με φωτογραφίες κατά τη σάρωση αλλά και εικόνες μετά το πέρας της επεξεργασίας τους στο λογισμικό.

III.2.1 Προσωπείο

Το δεύτερο αντικείμενο που σαρώθηκε είναι ένα προσωπείο. Πρόκειται για την πιο απλή από όλες τις περιπτώσεις, καθώς όλες οι λεπτομέρειες της γεωμετρίας αποτυπώνονται στο εμπρόσθιο τμήμα του, ενώ στηρίζεται σε επίπεδη επιφάνεια η οποία προφανώς δε χρειάζεται σάρωση και μπορεί να σχεδιαστεί στο λογισμικό κατά η διάρκεια της επεξεργασίας. Το προσωπείο τοποθετείται με την επίπεδη επιφάνειά του πάνω στην κινούμενη πλατφόρμα και σαρώνεται χωρίς την ανάγκη μετακίνησης ή περιστροφής.

Ο αισθητήρας τοποθετείται στις 90° και η κεφαλή στις 0°, ενώ οι απλές λεπτομέρειες του προσωπείου, όπως θα φανεί στις πιο κάτω εικόνες, επιτρέπουν σάρωση με μικρή ανάλυση ώστε το αρχείο που προκύπτει να είναι εύκολο στη διαχείριση, ενώ συγχρόνως μειώνεται κατά πολύ η χρονική διάρκεια της διαδικασίας της σάρωσης. Επιλέγεται ανάλυση διαμήκους σάρωσης 0.2 mm και εγκάρσια ανάλυση σάρωσης 0.5 mm.

Κατά τη σάρωση, εκτός από την επιφάνεια του προσωπείου, σαρώνεται και τμήμα της κινούμενης πλατφόρμας. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι καθαρά βοηθητικός και η χρησιμότητα της συγκεκριμένης ενέργειας θα φανεί στην επόμενη παράγραφο, κατά την επεξεργασία του πλέγματος στο λογισμικό.



Εικόνα III.1 Κάτοψη προσωπείου



Εικόνα III.2 Σάρωση προσώπριου

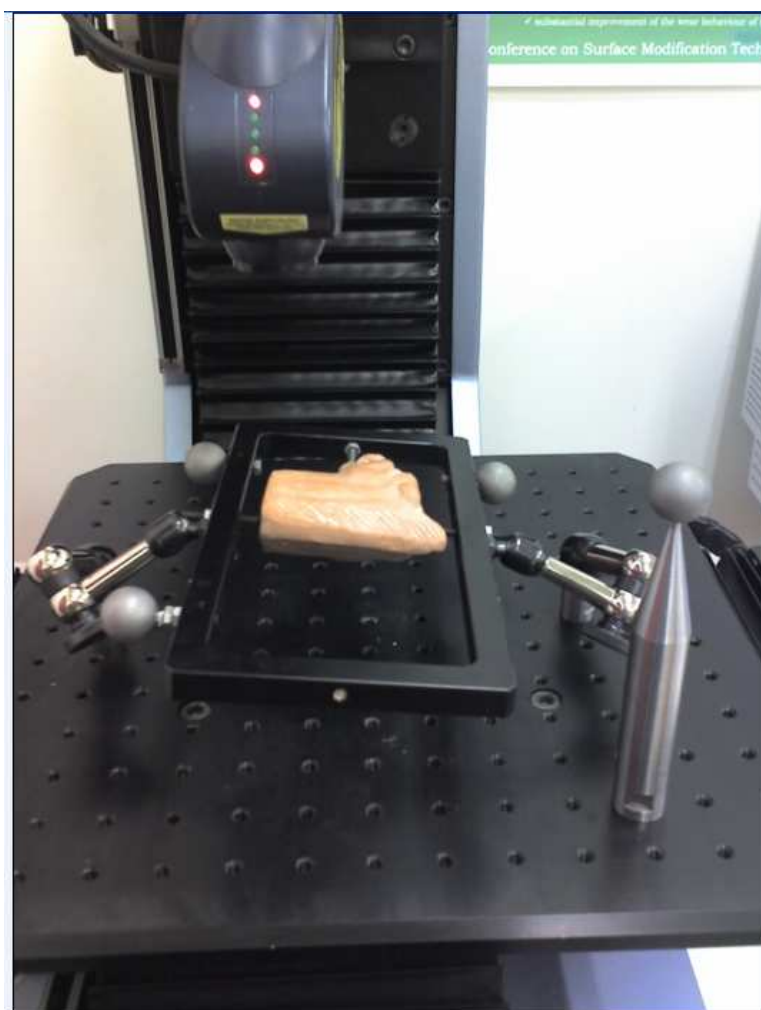
III.2.2 Προτομή αλόγου

Το επόμενο αντικείμενο που παρουσιάζεται είναι η τρισδιάστατη προτομή αλόγου. Όπως ήδη αναφέρθηκε στην εισαγωγή, πρόκειται για τρισδιάστατο αντικείμενο χωρίς κανένα επίπεδο συμμετρίας και με σημαντικές λεπτομέρειες στο σύνολο της γεωμετρίας του. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να σαρωθεί ολόκληρο, ώστε να απεικονιστούν το δυνατό καλύτερα οι λεπτομέρειες αυτές. Μέσο για την επίτευξη του τελικού στόχου αποτελεί το πλαίσιο (fixture) που προσφέρει ο κατασκευαστής πάνω στο οποίο προσαρτάται το αντικείμενο και επιτρέπει περιστροφή του αντικειμένου και μαζί με αυτό όλου του συστήματος αναφοράς, με αποτέλεσμα την άμεση σύνθεση των διαφορετικών νεφών που προκύπτουν χωρίς καμία παρέμβαση από το χειριστή του σαρωτή. Το πλαίσιο έχει πάνω του προσαρμοσμένες τρεις σφαίρες που καθορίζουν κάθε φορά το σύστημα αναφοράς. Ο τρόπος χειρισμού του έχει περιγραφεί αναλυτικά σε προηγούμενη παράγραφο.

Θα δειχθεί ο τρόπος σάρωσης με αναλυτικές φωτογραφίες, με τις περιστροφές τόσο του αισθητήρα και της κεφαλής όσο και του πλαισίου, μέχρι την επίτευξη του βέλτιστου συνδυασμού των παραπάνω για τη σάρωση της κάθε περιοχής. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί

ότι η ανάλυση της σάρωσης θα πρέπει να είναι τέτοια που από τη μια να απεικονίζονται ικανοποιητικά οι λεπτομέρειες της προτομής ενώ συγχρόνως το αρχείο των δεδομένων να έχει μέγεθος που να επιτρέπει την σχετικά εύκολη διαχείρισή του. Επιλέχθηκε ανάλυση διαμήκους σάρωσης 0.09 mm και εγκάρσια ανάλυση σάρωσης 0.1 mm.

Η πρώτη σάρωση πραγματοποιήθηκε με μια γωνία της κεφαλής στις 0° και γωνία του αισθητήρα στις 90°. Με τη συγκεκριμένη θέση του πλαισίου σαρώθηκε η μια από τις δύο πλαινές όψεις του αντικειμένου, όπως φαίνεται στην εικόνα III.3.



Εικόνα III.3 Κεφαλή 0°, αισθητήρας 90°

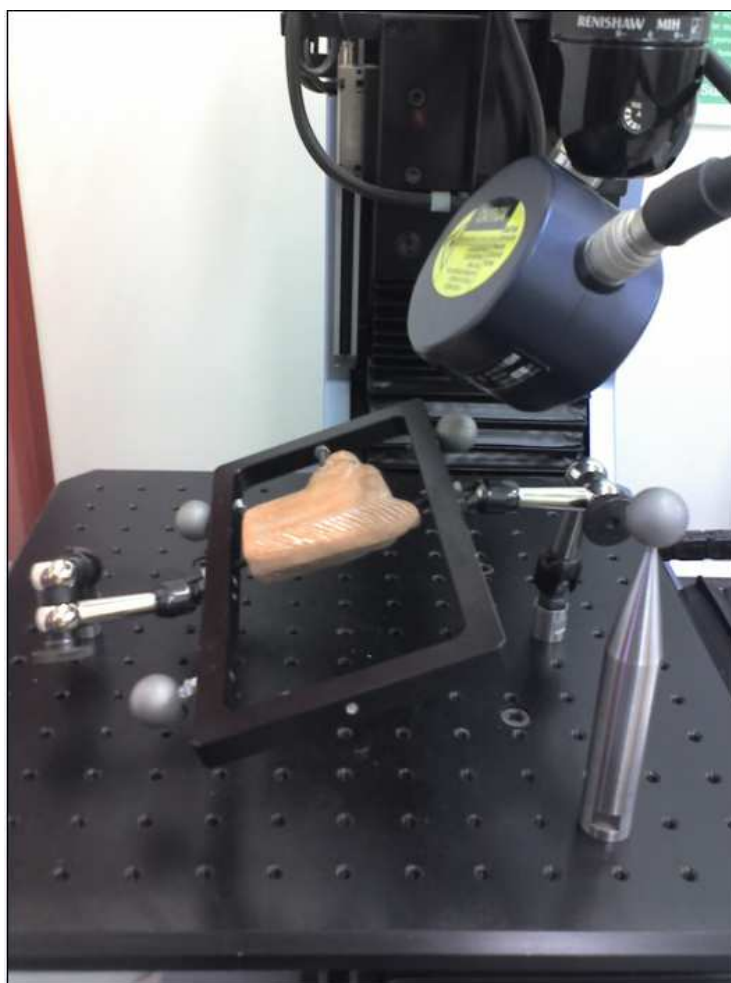
Στην εικόνα αυτή, φαίνονται καθαρά το πλαίσιο με τις προσαρμοσμένες σε αυτό σφαίρες, ο τρόπος που στηρίζεται πάνω στην κινούμενη πλατφόρμα, ο τρόπος που προσαρτάται το αντικείμενο σε αυτό καθώς και η ράβδος βαθμονόμησης η οποία καθορίζει το αρχικό σύστημα αναφοράς.

Στη συνέχεια, περιστρέφοντας την κεφαλή στις 22.5° και τον αισθητήρα στις 0° , καθώς και με μια περιστροφή του πλαισίου, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα, σαρώνεται η μισή περιοχή του λαιμού καθώς και η μισή μουσούδα του αλόγου.



Εικόνα III.4 Κεφαλή 22.5° , αισθητήρας 0°

Κατόπιν, τοποθετείται η κεφαλή στις 30° και ο αισθητήρας στις -90° και με την ανάλογη περιστροφή του πλαισίου σαρώνεται το μισό πάνω τμήμα του κεφαλιού.



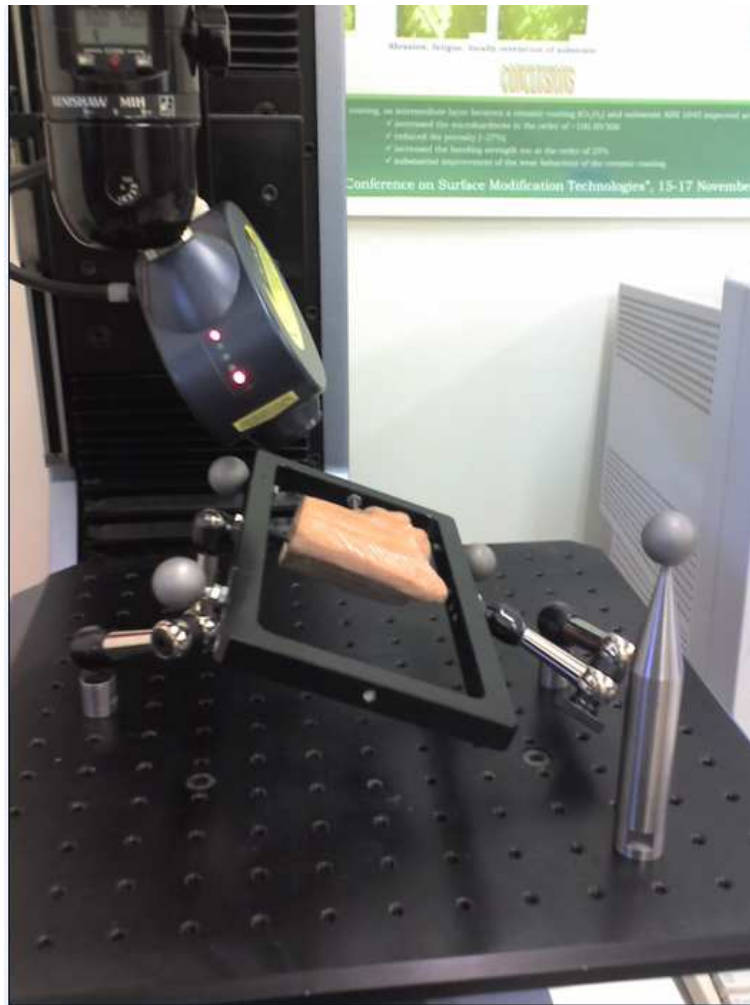
Εικόνα III.5 Κεφαλή 30° , αισθητήρας -90°

Η συνέχεια περιλαμβάνει την περιστροφή του αισθητήρα στις 180° , με τη γωνία της κεφαλής να παραμένει στις 30° και με μια θέση του πλαισίου, ώστε να μπορεί να σαρωθεί το πίσω τμήμα της χαίτης, όπως φαίνεται στην εικόνα III.6.



Εικόνα III.6 Κεφαλή 30°, αισθητήρας 180°

Τέλος τοποθετείται ο αισθητήρας σε γωνία 90° με την κεφαλή στις 30° και θέση πλαισίου τέτοια, ώστε να σαρωθεί το μισό τμήμα κάτω από το στόμα. Με το πέρας της σάρωσης αυτής θα έχει ολοκληρωθεί η σάρωση της μισής προτομής.



Εικόνα III.7 Κεφαλή 30°, αισθητήρας 90°

Μετά την ολοκλήρωση της σάρωσης της μισής προτομής, το πλαίσιο περιστρέφεται ώστε να έρθει η υπόλοιπη μισή προτομή στο προσκήνιο. Με την κεφαλή στις 0° και τον αισθητήρα στις 90°, σαρώνεται το υπόλοιπο πλαινό τμήμα της προτομής.



Εικόνα III.8 Κεφαλή 0° , αισθητήρας 90°

Τοποθέτηση της κεφαλής στις 22.5° , του αισθητήρα στις 90° και θέση του πλαισίου τέτοια που να δύναται να σαρωθεί το υπόλοιπο εμπρόσθιο τμήμα της προτομής κάτω από το στόμα, ο υπόλοιπος λαιμός καθώς και η υπόλοιπη μουσούδα.



Εικόνα III.9 Κεφαλή 22.5°, αισθητήρας 90°

Τέλος, με περιστροφή του αισθητήρα στις -90°, της κεφαλής στις 22.5° και το πλαίσιο στην ακόλουθη θέση, σαρώνεται το υπόλοιπο πάνω τμήμα του κεφαλιού.



Εικόνα III.10 Κεφαλή 22.5°, αισθητήρας -90°

Μια λεπτομέρεια η οποία θα πρέπει να τονιστεί, είναι ότι δε σαρώθηκε η επίπεδη επιφάνεια πάνω στην οποία στηρίζεται η προτομή, κυρίως για λόγους εξοικονόμησης μεγέθους του τελικού αρχείου δεδομένων. Εξάλλου, η επίπεδη αυτή επιφάνεια μπορεί εύκολα να προσεγγιστεί κατά την επεξεργασία του αρχείου στο λογισμικό.

III.2.3 Αγαλματίδιο κούρου

Το τρίτο αντικείμενο αποτελεί και την πιο δύσκολη περίπτωση σάρωσης. Πρόκειται για ένα τρισδιάστατο αγαλματίδιο κούρου, χωρίς επίπεδο συμμετρίας, το οποίο χρειάζεται εξολοκλήρου σάρωση για την αποτύπωση του συνόλου των λεπτομερειών. Τα συγκεκριμένα δεδομένα απαιτούν τη χρησιμοποίηση του πλαισίου που προσφέρει ο κατασκευαστής. Το

μέγεθος όμως του αγαλματιδίου δεν επιτρέπει τη χρήση του. Επίσης, όπως θα φανεί και στις φωτογραφίες, η στήριξη του αγαλματιδίου σε επίπεδη επιφάνεια θα μπορούσε να επιτρέψει τη σάρωση του αντικειμένου, τοποθετώντας το στο μέσο της κινούμενης πλατφόρμας και περιστρέφοντας την κεφαλή του σαρωτή γύρω από αυτό. Και πάλι όμως, η καθ' ύψος κίνηση και η περιστροφή της κεφαλής σε συνδυασμό με την κίνηση της πλατφόρμας δεν καλύπτουν όλη την επιφάνεια του αγαλματιδίου, χωρίς αυτό να χρειαστεί μετακίνηση.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, κρίθηκε αναγκαία η εύρεση ενός διαφορετικού τρόπου σάρωσης, ο οποίος θα παρακάμπτει τα εν λόγω προβλήματα. Η ιδέα στηρίζεται στη δημιουργία ενός εικονικού συστήματος αναφοράς, με τη βοήθεια του οποίου θα γίνει η σύνθεση των νεφών κατά την επεξεργασία των δεδομένων στο λογισμικό. Η δημιουργία του εικονικού συστήματος θα στηριχθεί στην εκμετάλλευση των οπών που υπάρχουν στο τραπέζι της μηχανής, για τις οποίες είναι γνωστό ότι απέχουν μεταξύ τους 25 mm. Θα εφαρμοστούν στη βάση του αγαλματιδίου τρία στηρίγματα, τα οποία θα απέχουν μεταξύ τους τόσο, ώστε να μπορούν να εφαρμόζονται στις οπές. Στην εικόνα III.11 είναι εμφανής ο τρόπος εφαρμογής των στηριγμάτων.



Εικόνα III.11 Στηρίγματα αγαλματιδίου

Στη συνέχεια το αγαλματίδιο τοποθετείται στην κινούμενη πλατφόρμα σε θέσεις ανάλογες με τις περιοχές που θα σαρωθούν. Στις φωτογραφίες αυτές θα είναι εμφανή, εκτός από τις θέσεις του αγαλματιδίου, η γωνία της κεφαλής και του αισθητήρα καθώς επίσης και η θέση της ράβδου βαθμονόμησης του σημείου αναφοράς. Η τελευταία αναφέρεται, διότι η βαθμονόμηση γωνιών απαιτούσε σε πολλές περιπτώσεις μετακίνηση του αρχικού σημείου αναφοράς εξαιτίας της αδυναμίας κίνησης της κεφαλής χωρίς να υπάρξει σύγκρουση με το αγαλματίδιο. Τονίζεται στο συγκεκριμένο σημείο, πως με τη μετατόπιση του αρχικού σημείου αναφοράς, μετατρέπονται οι συντεταγμένες όλων των νεφών σημείων ως προς το νέο σημείο αναφοράς. Για ανάλυση διαμήκους σάρωσης επιλέχθηκαν τα 0.09 mm, ενώ για ανάλυση εγκάρσιας σάρωσης επιλέχθηκαν τα 0.1 mm.

Καταρχήν, το αγαλματίδιο τοποθετείται σε θέση που να μπορεί να σαρωθεί το οπίσθιο τμήμα του σώματος σε συνδυασμό με τη γωνία του αισθητήρα στις 0° και τη γωνία της κεφαλής στις 67.5° , όπως φαίνεται στην εικόνα III.12.



Εικόνα III.12 Σάρωση οπίσθιας όψης

Με γωνία της κεφαλής στις 45° , σαρώνεται το πάνω τμήμα του κεφαλιού του αγαλματιδίου, καθώς στις 67.5° η καθ' ύψος κίνηση της κεφαλής του αισθητήρα δεν έφτανε την κορυφή του.



Εικόνα III.13 Σάρωση πάνω-οπίσθιου τμήματος κεφαλιού

Στη συνέχεια, το αγαλματίδιο μετατοπίζεται κατά 10x25 mm προς τα πίσω για τη σάρωση της εμπρόσθιας όψης του. Με γωνία κεφαλής του αισθητήρα στις 67.5° και του αισθητήρα στις 180° σαρώνεται το εμπρόσθιο τμήμα του σώματος, ενώ με μεταβολή της γωνίας της κεφαλής στις 45° σαρώνεται το υπόλοιπο πάνω τμήμα του κεφαλιού του, όπως φαίνεται στις δύο εικόνες III.14 και III.15 αντίστοιχα.

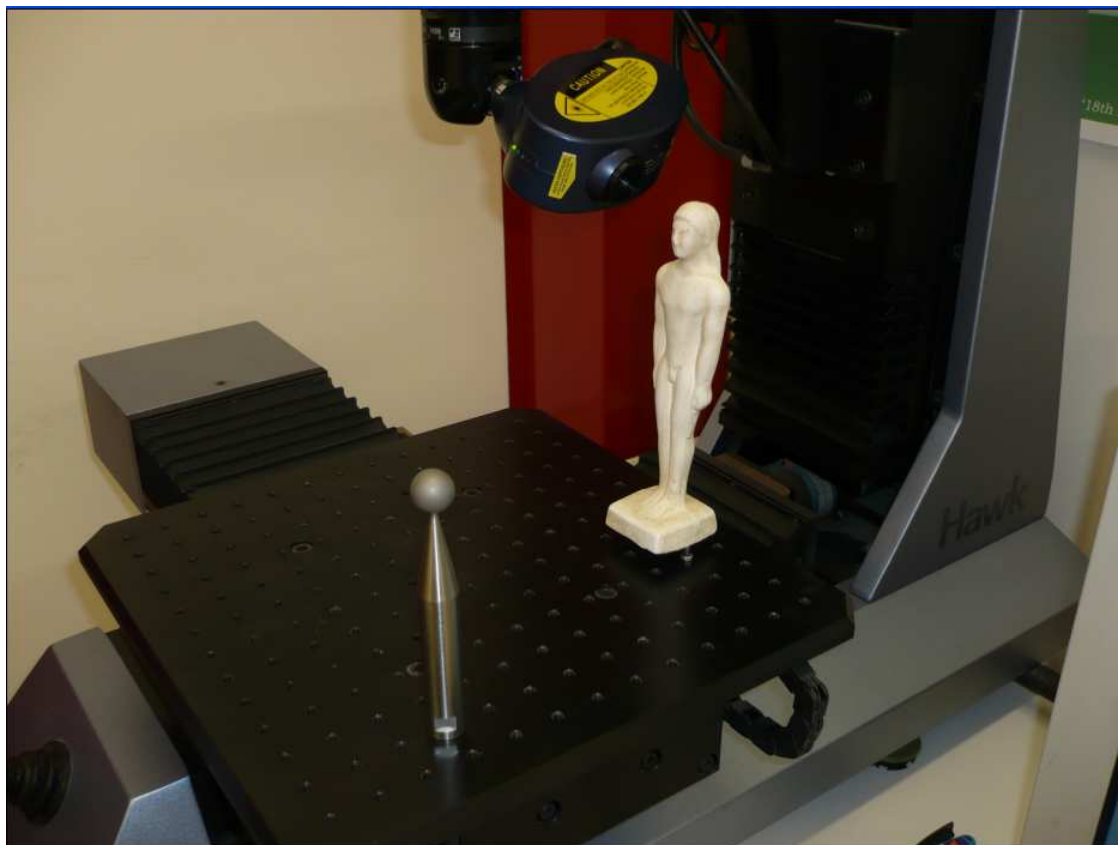


Εικόνα III.14 Σάρωση εμπρόσθιας όψης



Εικόνα III.15 Σάρωση πάνω-εμπρόσθιου τμήματος κεφαλής

Κατόπιν, με μετατόπιση του αγαλματιδίου κατά 2x25 προς τα δεξιά από την προηγούμενη θέση και με γωνία της κεφαλής στις 67.5° και του αισθητήρα στις 105°, σαρώνεται το δεξί τμήμα του αγαλματιδίου, όπως φαίνεται στην εικόνα III.16.



Εικόνα III.16 Σάρωση δεξιού τμήματος αγαλματιδίου

Τέλος, με μετατόπιση του αγαλματιδίου κατά 4x25 mm από την αρχική θέση προς τα αριστερά, σαρώνεται το αριστερό τμήμα του αγαλματιδίου, με γωνία κεφαλής στις 67.5° και γωνία του αισθητήρα στις -67.5°.



Εικόνα III.17 Σάρωση αριστερού τμήματος αγαλματιδίου

Π.2.4 Σάρωση μεταλλικών αντικειμένων

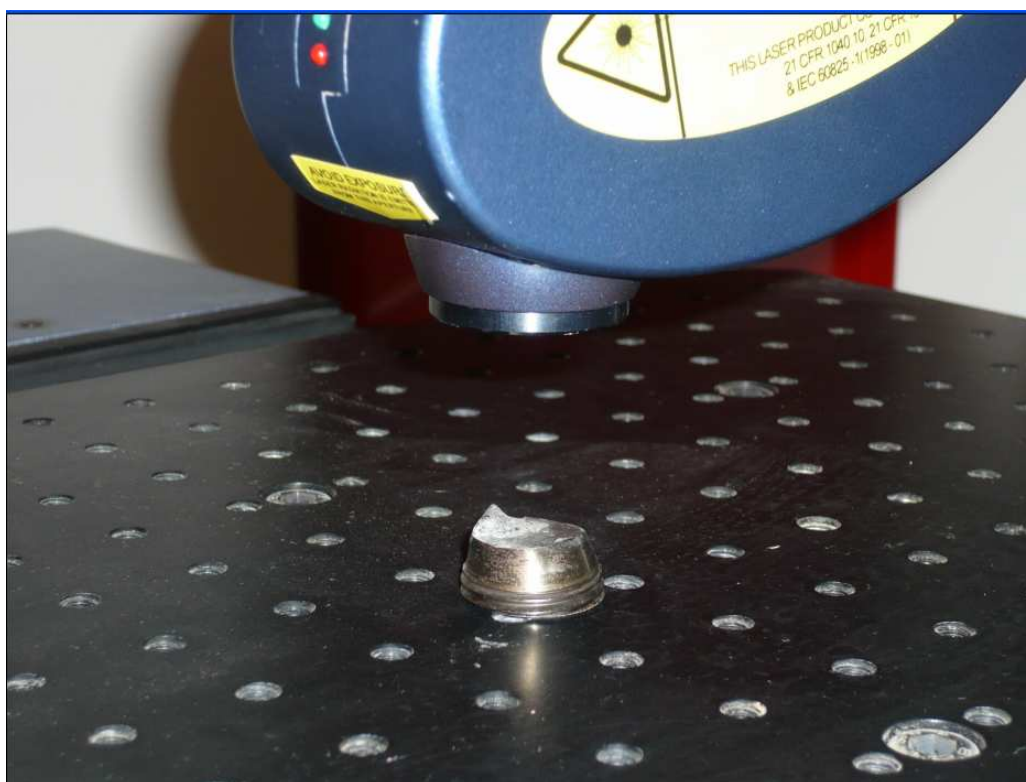
Στη συγκεκριμένη παράγραφο παρουσιάζονται τα δύο μεταλλικά αντικείμενα που σαρώθηκαν. Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, πρόκειται για έναν κοχλία στήριξης του σφονδύλου μιας μηχανής diesel πλοίου και για ένα τμήμα του στροφαλοφόρου άξονα ενός jeep, στα οποία έχει επέλθει αστοχία.

Η σάρωση θα επικεντρωθεί μόνο στην επιφάνεια θραύσης και όχι σε όλο το εξάρτημα. Οι λόγοι για την επιλογή αυτή είναι οι ακόλουθοι. Κατά πρώτον, τα αντικείμενα είναι μικρά για να προσαρτηθούν στο πλαίσιο, πράγμα που καθιστά τη χρήση του πλαισίου αδύνατη. Επίσης, η περίπτωση δημιουργίας ενός εικονικού συστήματος αναφοράς, όπως στην περίπτωση του αγαλματιδίου, δε θα οδηγούσε σε λύση. Οι κυλινδρικές επιφάνειες των μεταλλικών εξαρτημάτων απαιτούν την περιστροφή του αντικείμενου για τη σάρωση τους. Το εικονικό σύστημα αναφοράς της προηγούμενης παραγράφου, επιτρέπει μόνο τη μετακίνηση

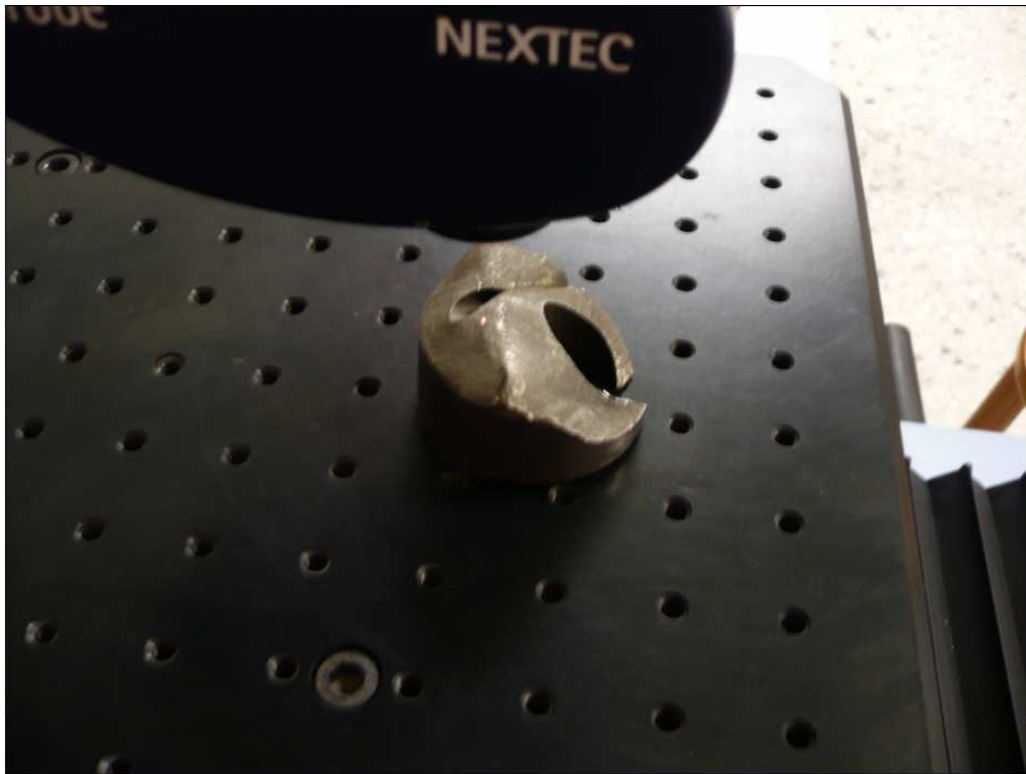
του αντικειμένου και όχι την περιστροφή του και αυτό διότι από τη στιγμή που δεν υπάρχει κανένα επίπεδο συμμετρίας, είναι αδύνατη η εύρεση ενός άξονα περιστροφής γύρω από τον οποίο θα γίνει η περιστροφή, κατά την επεξεργασία στο λογισμικό, του κάθε νέφους, ώστε να πραγματοποιηθεί η σύνθεσή τους. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η γεωμετρία του στροφαλοφόρου άξονα του jeep περιλαμβάνει εσωτερικές κυλινδρικές επιφάνειες στο σώμα του, στις οποίες δε μπορεί να φτάσει ο σαρωτής.

Η σάρωση μόνο της επιφάνειας θραύσης οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο βασικός κορμός των εξαρτημάτων θα σχεδιασθεί στο λογισμικό με βάση τις φυσικές του διαστάσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη ενός μεικτού τρόπου μοντελοποίησης ο οποίος περιλαμβάνει σάρωση και σχεδίαση για το ίδιο το αντικείμενο.

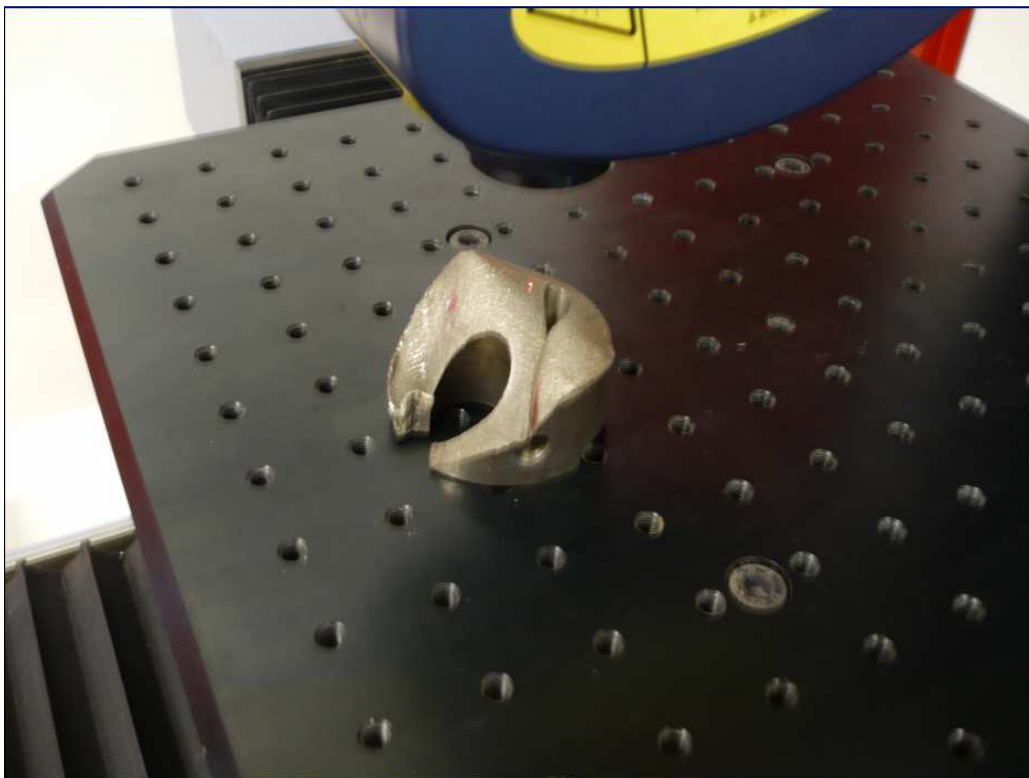
Τα αντικείμενα τοποθετήθηκαν στο μέσο της κινούμενης πλατφόρμας και σαρώθηκαν με γωνία αισθητήρα στις 90°, γωνία κεφαλής στις 0°, ανάλυση διαμήκουσ σάρωσης στα 0.07 mm και ανάλυση εγκάρσιας σάρωσης στα 0.09 mm. Στις πρώτες δύο εικόνες παρουσιάζεται ο κοχλίας στήριξης του σφονδύλου της μηχανής diesel του πλοίου, ενώ στις επόμενες δύο παρουσιάζεται ο στροφαλοφόρος άξονας του jeep.



Εικόνα III.18 Κοχλίας στήριξης



Εικόνα III.19 Δεξιό τμήμα στροφαλοφόρου άξονα Jeep



Εικόνα III.20 Αριστερό τμήμα στροφαλοφόρου άξονα Jeep

Με το πέρας της σάρωσης των επιφανειών θραύσης, σαρώθηκε και μια απλή γραμμή, με βάση το σχέδιο απλής γραμμής (polyline), η οποία ξεκινά από ένα σημείο της επιφάνειας θραύσης και καταλήγει στη βάση του βασικού σώματος του κάθε αντικειμένου. Η χρησιμότητα αυτής της σάρωσης και στα δύο αντικείμενα θα φανεί στο επόμενο κεφάλαιο, κατά την προσέγγιση των διαστάσεων αυτών.

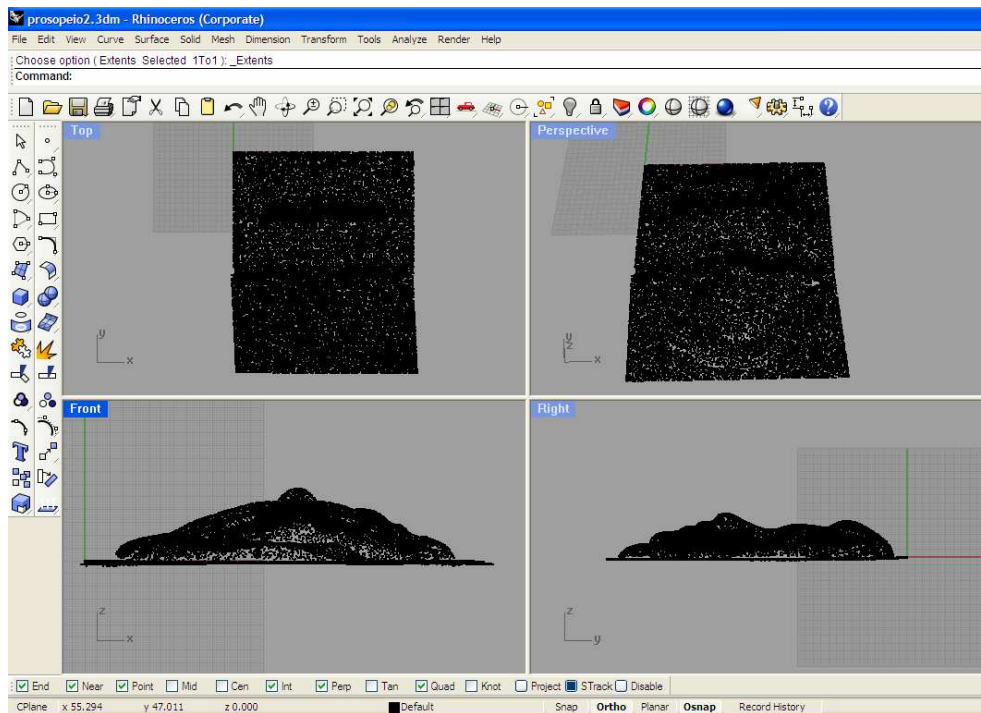
III.2 Περιγραφή επεξεργασίας στο λογισμικό

Στη συγκεκριμένη παράγραφο αναλύεται η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων, από τη στιγμή που εισάγεται το αρχείο κειμένου (.txt) στο Rhinoceros μέχρι τη δημιουργία του στερεού μοντέλου. Περιγράφεται η διαδικασία για κάθε αντικείμενο ξεχωριστά, ενώ δίνεται έμφαση στην επίλυση των διαφόρων προβλημάτων που προκύπτουν. Μετά την παρουσίαση όλων των αντικειμένων, περιγράφονται οι ρουτίνες του rhinoscript και δείχνονται πώς εφαρμόζονται πάνω στα αντικείμενα για μια πρώτη προσέγγιση αυτοματοποίησης της διαδικασίας.

III.2.1 Προσωπείο

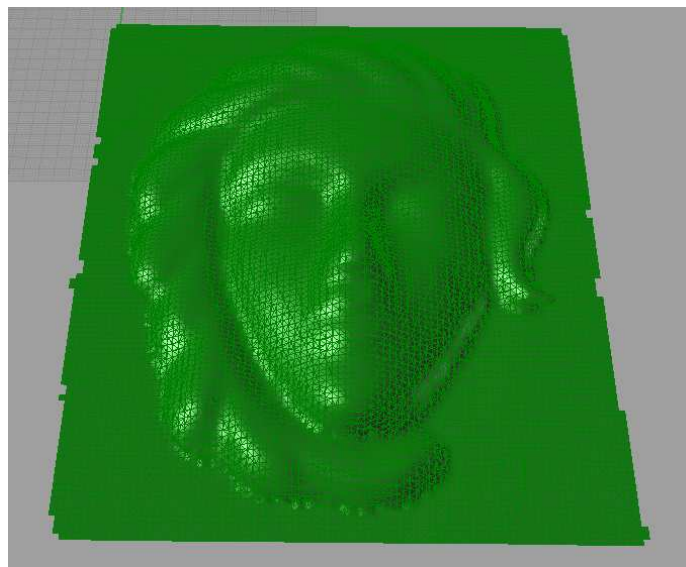
Το αντικείμενο που παρουσιάζεται εδώ είναι το προσωπείο. Πρόκειται για την πιο εύκολη των περιπτώσεων, καθώς η απλότητα της επιφάνειας επέτρεψε τη σάρωσή της με αρκετά μικρή ανάλυση από την πλευρά του σαρωτή, με αποτέλεσμα την πολύ εύκολη διαχείριση του αρχείου, ενώ συγχρόνως η επιφάνεια πλέγματος που προκύπτει από το Rhinoceros περιέχει πολύ λίγα σφάλματα.

Κατά πρώτον, εισάγεται το νέφος σημείων στο Rhinoceros, όπως φαίνεται στην εικόνα III.21.



Εικόνα III. 21 Γενική επισκόπηση του πλέγματος από διάφορες όψεις και γωνίες.

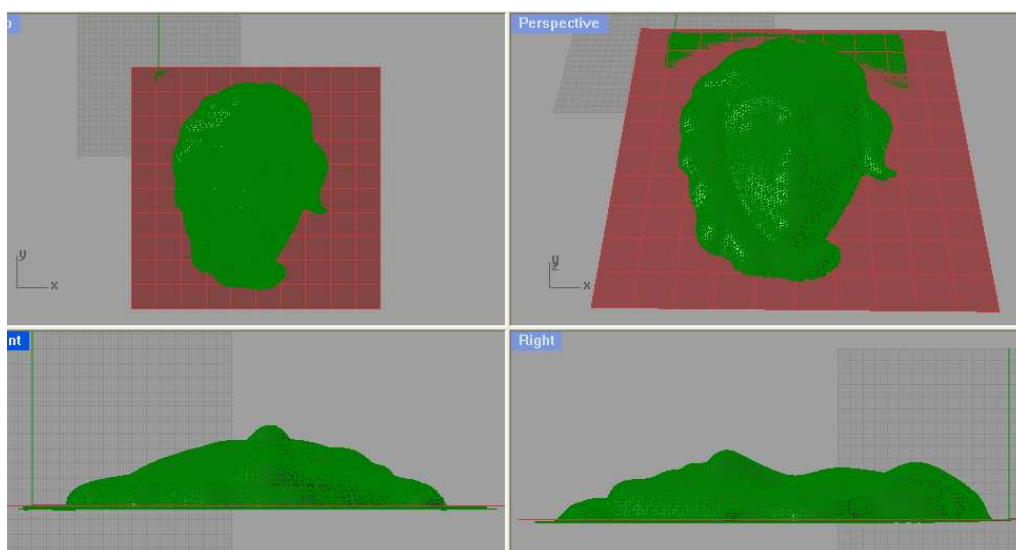
Η συνέχεια περιλαμβάνει τη δημιουργία του πλέγματος από αυτό το νέφος σημείων. Η δημιουργία του πλέγματος πραγματοποιείται με την εντολή `MeshFromPoints`.



Εικόνα III. 22 Πλέγμα προσώπιδου

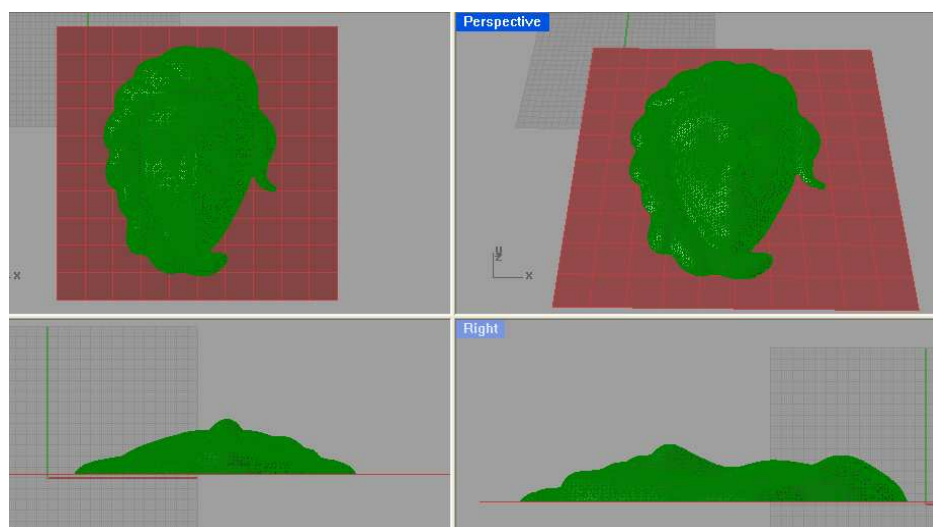
Στην εικόνα (III.22) φαίνεται ξεκάθαρα το τμήμα του κινούμενου τραπέζιού που, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, σαρώθηκε μαζί με το προσώπιδου καθαρά για λόγους

διευκόλυνσης. Ο στόχος είναι διπλός. Κατά τη σάρωση του προσωπείου, ήταν εξαιρετικά χρονοβόρος ο ακριβής ορισμός των ορίων των περιοχών που θα έπρεπε να σαρώσει ο σαρωτής. Για τον λόγο αυτό, σαρώθηκε επιπλέον ένα τμήμα του τραπεζιού, το οποίο στη συνέχεια θα αποκοπεί από το πλέγμα με μια επίπεδη επιφάνεια. Η αποκοπή με επίπεδη επιφάνεια βοηθάει, επίσης, στο να βρεθούν όλα τα όρια του πλέγματος στο ίδιο επίπεδο και στη συνέχεια αυτή είναι που κλείνει το προσωπείο. Με την εντολή MeshPlane δημιουργείται η επίπεδη επιφάνεια.



Εικόνα III. 23 Δημιουργία επίπεδης επιφάνειας

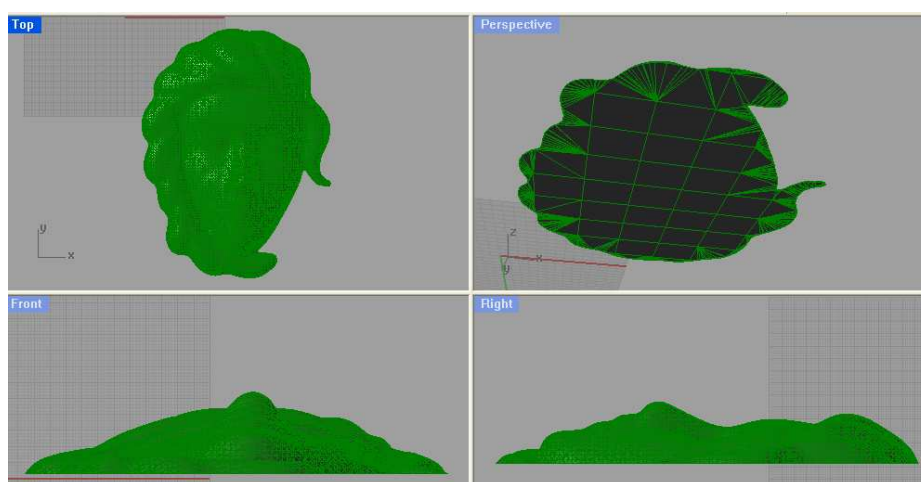
Η επίπεδη επιφάνεια μετακινείται ελαφρώς προς τα πάνω για να καλύψει τις όποιες τρύπες υπάρχουν εξαιτίας των ατελειών της σάρωσης στα σημεία επαφής του κινούμενου τραπεζιού με το προσωπείο, ώστε να αφαιρεθούν σωστά τα κομμάτια του πλέγματος που δε χρειάζονται. Η αφαίρεση των κομματιών πραγματοποιείται με την εντολή MeshTrim.



Εικόνα III. 24 Αποκοπή βοηθητικού τμήματος του πλέγματος

Είναι σαφές ότι ένα τμήμα της πληροφορίας του πλέγματος χάνεται κατά την αποκοπή του βοηθητικού τμήματος της επιφάνειας σάρωσης. Η εξέλιξη αυτή είναι αναγκαία, από τη στιγμή που ο σαρωτής δεν επιτρέπει τη σάρωση ολόκληρου του αντικειμένου. Παρόλα αυτά, η ποσότητα της πληροφορίας που χάνεται είναι αρκετά μικρή για να επηρεάσει το μοντέλο στο σύνολό του.

Μετά την αφαίρεση των κομματιών που δε χρειάζονται, με την εντολή MeshBooleanDifference παράγεται ένα ενιαίο και κλειστό πλέγμα.

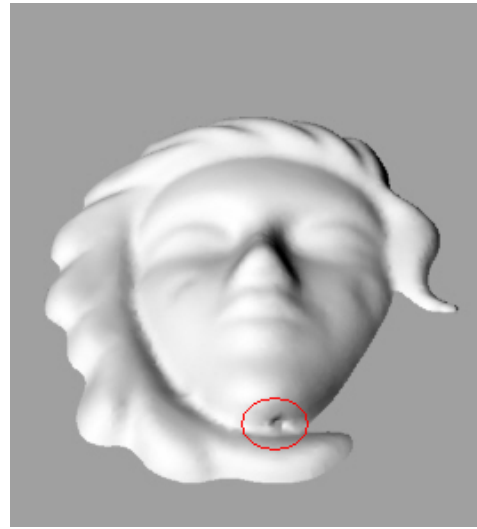


Εικόνα III. 25 Κλειστό πλέγμα προσώπειου

Με την εντολή Render, είναι δυνατή η παρατήρηση του πλέγματος σε ξεχωριστό παράθυρο για την εύρεση σφαλμάτων:



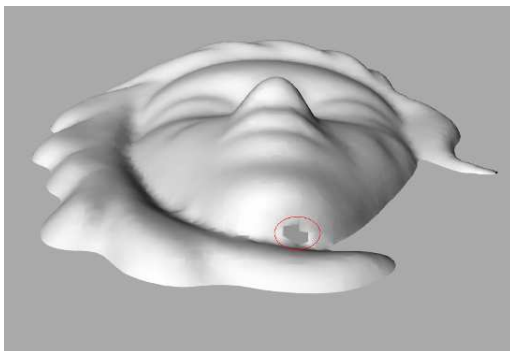
Εικόνα III. 26 Κάτοψη πλέγματος



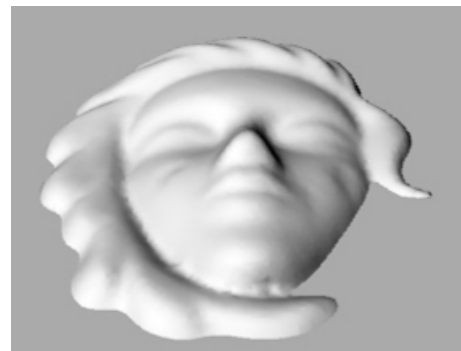
Εικόνα III. 27 Ελάττωμα πλέγματος

Στην εικόνα III.26 δεν φαίνεται κάποιο σφάλμα. Στην εικόνα III.27, αντιθέτως, είναι κυκλωμένο ένα μικρό ελάττωμα της επιφάνειας, το οποίο απαιτεί επέμβαση από τον χρήστη.

Με την εντολή `DeleteMeshFaces`, διαγράφονται οι επίμαχες τριγωνικές επιφάνειες του πλέγματος και με την εντολή `FillMeshHole` καλύπτεται το κενό που προκύπτει, όπως φαίνεται αντίστοιχα στις εικόνες III.28 και III.29 .



Εικόνα III.28 Διαγραφή επίμαχων περιοχών



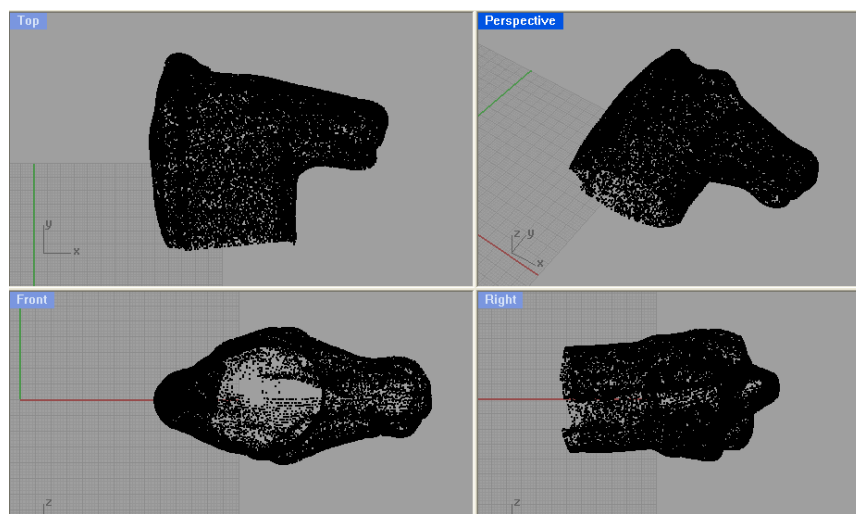
Εικόνα III. 29 Διόρθωση σφάλματος

Μετά τη μικρή διόρθωση στο πλέγμα, με την εντολή `MeshToSolid` μετατρέπεται το κλειστό πλέγμα σε στερεό. Μπορεί κανείς να παρατηρήσει την διαφορά στο στερεό μοντέλο που προκύπτει πριν (

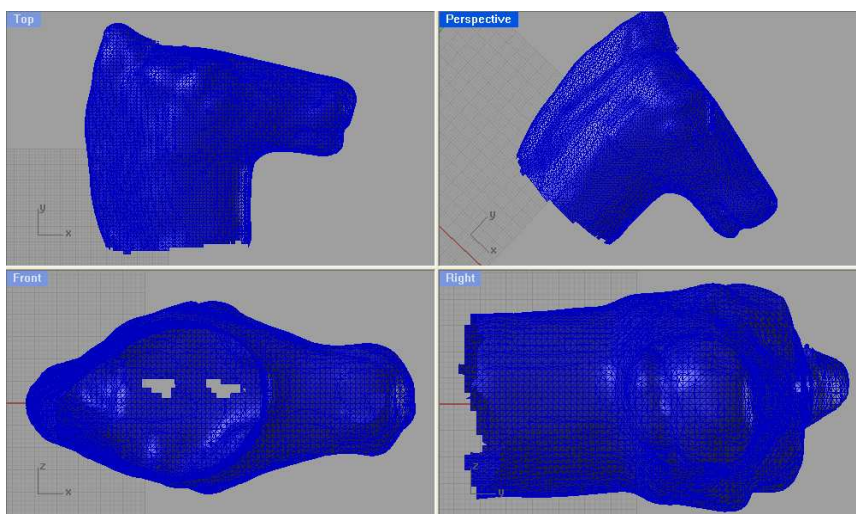
Εικόνα III.) και μετά τη διόρθωση του πλέγματος (Εικόνα III.).

III.2.2 Προτομή αλόγου

Το αντικείμενο που παρουσιάζεται εδώ η προτομή του αλόγου. Υπενθυμίζεται ότι για τη σάρωση του συγκεκριμένου αντικειμένου χρησιμοποιήθηκε το πλαίσιο που προσφέρει ο κατασκευαστής. Πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές σαρώσεις, με διάφορες γωνίες του πλαισίου και της κεφαλής και το τελικό πλέγμα που προκύπτει, εισάγεται στο Rhinoceros (Εικόνα III.). Στη συνέχεια δημιουργείται το πλέγμα με την εντολή MeshFromPoints (Εικόνα III.).



Εικόνα III. 30 Νέφος σημείων προτομής

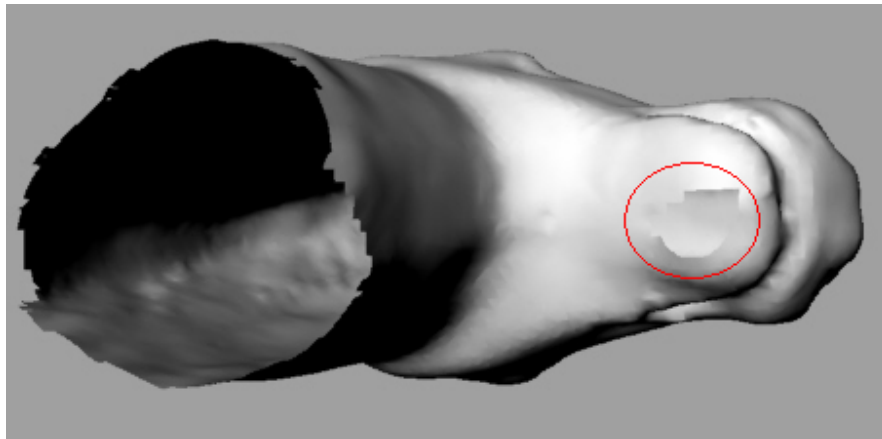


Εικόνα III. 31 Πλέγμα προτομής

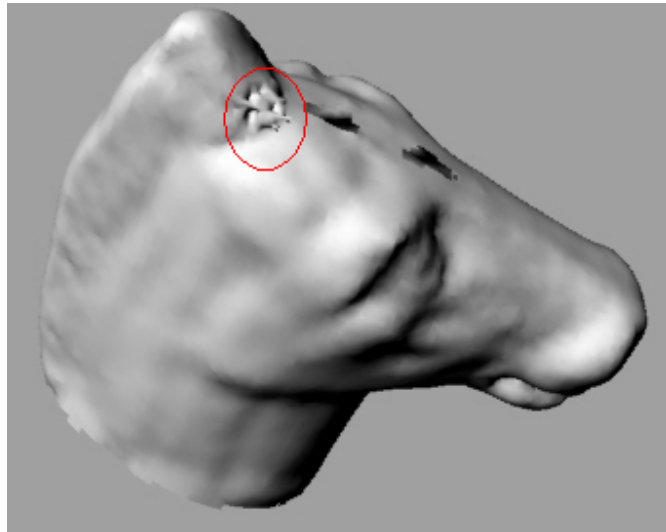
Με τη βοήθεια της εντολής Render, μπορεί κανείς να επιβλέψει τη δημιουργία του πλέγματος. Στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα III.32 ως Εικόνα III.) σημειώνονται σε κόκκινους κύκλους τα σφάλματα του πλέγματος, τα οποία απαιτούν διόρθωση από το χρήστη.



Εικόνα III. 32 Διάκενο πάνω μέρος κεφαλής



Εικόνα III. 33 Διάκενο κάτω από το στόμα

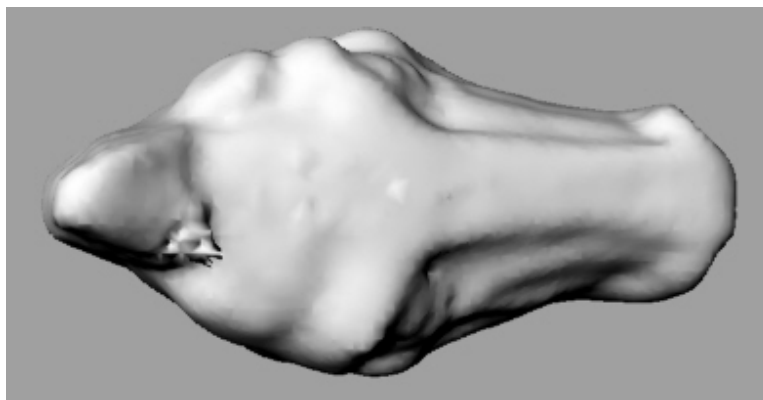


Εικόνα III. 34 Ανομοιόμορφη επιφάνεια χαιτίης

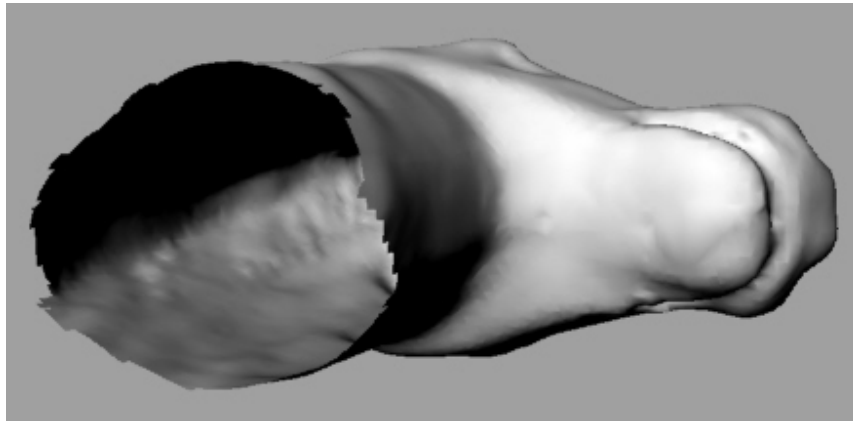
Όπως είναι προφανές, στο συγκεκριμένο πλέγμα υπάρχουν δύο ειδών ατέλειες:

- απλά διάκενα (Εικόνα III. και Εικόνα III.) και
- ανομοιόμορφη επιφάνεια (Εικόνα III.)

Τα συγκεκριμένα διάκενα προέκυψαν, κατά πάσα πιθανότητα, από τοπική αραίωση του πλέγματος εξαιτίας των δυσκολιών που είχε η κεφαλή σάρωσης να φτάσει στα συγκεκριμένα σημεία κατά τη σάρωση. Τα διάκενα μπορούν να καλυφθούν με την εντολή FillMeshHole. Τα αποτελέσματα μετά την επεξεργασία με την εν λόγω εντολή, παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα III. και Εικόνα III.36).



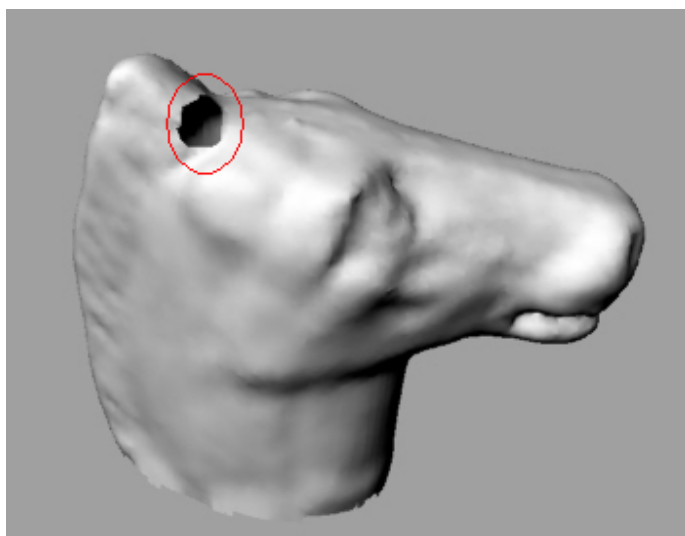
Εικόνα III. 35 Κάλυψη διάκενου κεφαλής



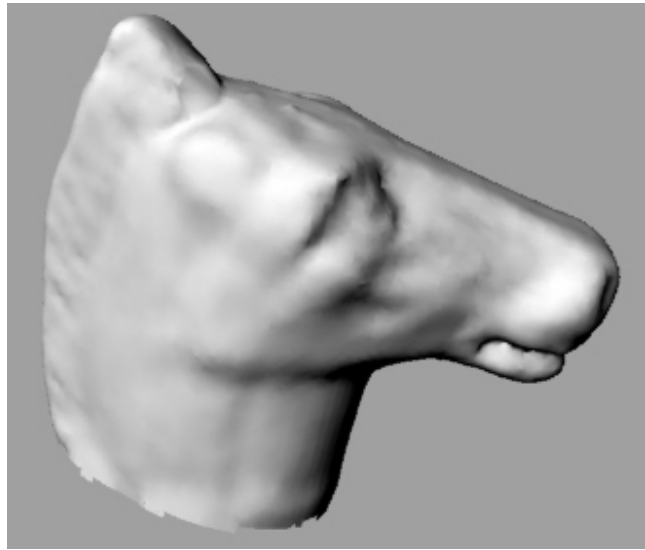
Εικόνα III. 36 Κάλυψη διάκενου στόματος

Το αποτέλεσμα γίνεται περισσότερο προφανές αν οι εικόνες αυτές συγκριθούν με τις αντίστοιχες εικόνες που παρουσιάζουν το πλέγμα πριν τη διόρθωση (Εικόνα III. και Εικόνα III. αντίστοιχα).

Το δεύτερο πρόβλημα αποτελεί καθαρά μια ατέλεια του πλέγματος, η οποία μπορεί να έχει προκύψει κατά τη σάρωση είτε από κάποια απότομη κίνηση της κεφαλής είτε από κάποιο τράνταγμα του τραπεζιού στο οποίο είναι τοποθετημένος ο σαρωτής. Ό,τι και να ισχύει από τα δύο, οδήγησε σε μια εσφαλμένη μέτρηση συντεταγμένων από την πλευρά του σαρωτή. Με την εντολή `DeleteMeshFaces` διαγράφει κανείς όλα τα τρίγωνα του πλέγματος στην περιοχή αυτή και το κενό που προκύπτει (Εικόνα III.), καλύπτεται με την εντολή `FillMeshHole` (Εικόνα III.).

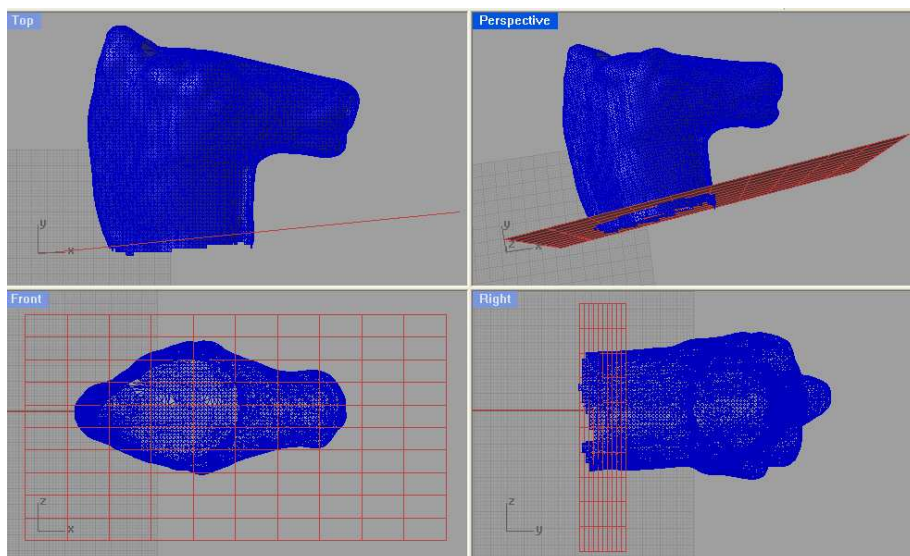


Εικόνα III. 37 Διαγραφή ατελειών του πλέγματος



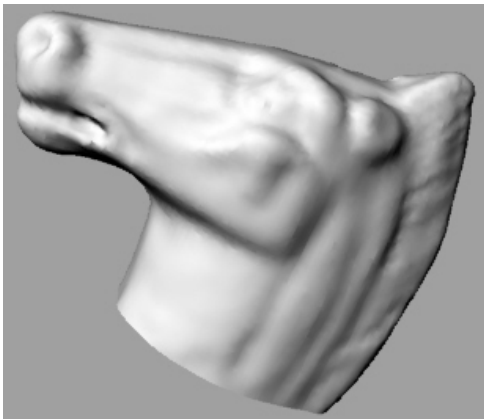
Εικόνα III. 38 Κάλυψη κενού

Μετά τη διόρθωση των σφαλμάτων του πλέγματος, ακολουθεί το κλείσιμο της προτομής από κάτω (στη βάση της) με μια επίπεδη επιφάνεια. Είναι προφανές ότι τα όρια του πλέγματος δε βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, γεγονός που καθιστά αδύνατη την ακριβή εφαρμογή επιφάνειας σε αυτά. Είναι αναγκαίο η επιφάνεια να κόψει ένα τμήμα του πλέγματος, ώστε να είναι δυνατό το κλείσιμο. Επίσης, δίνοντας μια κλίση στην επιφάνεια κάνοντας τη να ακολουθεί τα όρια, ελαχιστοποιείται η ποσότητα του πλέγματος που διαγράφεται. Όλα αυτά είναι εμφανή στην εικόνα Εικόνα III. .



Εικόνα III. 39 Κλείσιμο προτομής

Τέλος, με την εντολή `MeshBooleanIntersection`, διαγράφονται όλες οι μη κοινές περιοχές του πλέγματος της προτομής και της επίπεδης επιφάνειας και δημιουργείται ένα καινούριο, ενιαίο και κλειστό πλέγμα. Και πάλι, η ποσότητα της πληροφορίας που χάνεται είναι αρκετά μικρή για να επηρεάσει το μοντέλο στο σύνολό του. Τα αποτελέσματα φαίνονται στις δύο επόμενες εικόνες (Εικόνα III. και Εικόνα III.)



Εικόνα III. 40 Κλειστό πλέγμα (α)

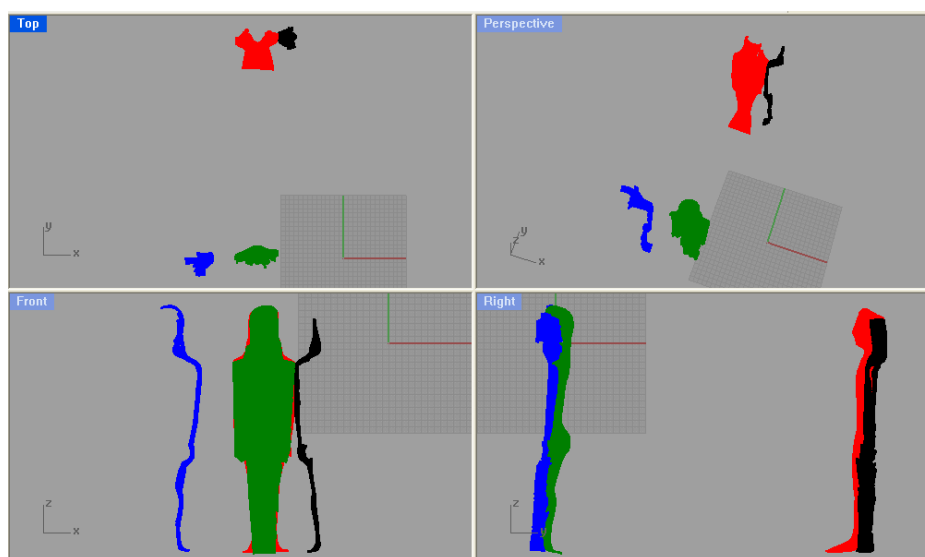


Εικόνα III. 41 Κλειστό πλέγμα (β)

Η διαδικασία ολοκληρώνεται με τη μετατροπή του κλειστού, πλέον, πλέγματος σε στερεό με την εντολή `MeshToSolid`.

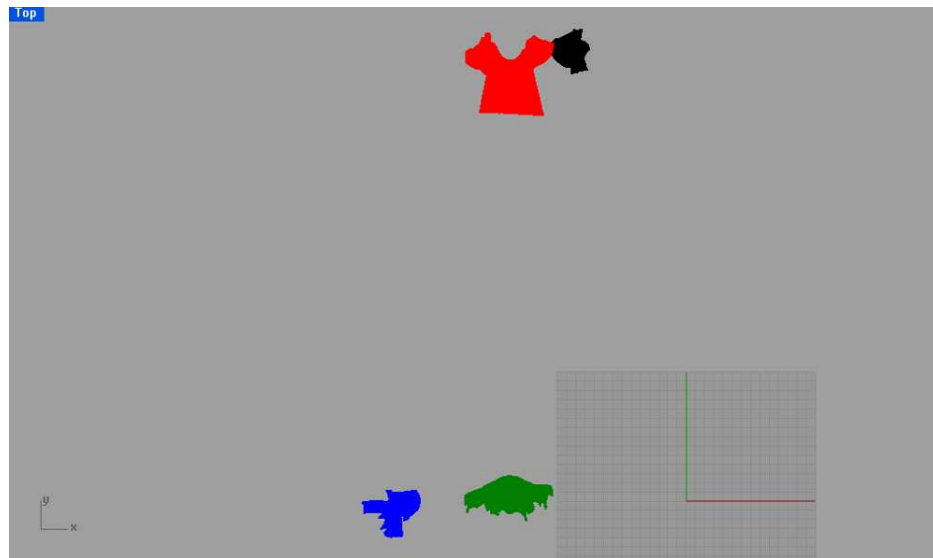
III.2.3 Αγαλματίδιο αρχαίου κούρου

Στη συγκεκριμένη παράγραφο παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας στερεού μοντέλου του αγαλματιδίου με τη μορφή αρχαίου κούρου. Όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, για το κεραμικό αυτό εφαρμόζεται ένας τελείως διαφορετικός τρόπος σάρωσης. Υπενθυμίζεται ότι, εξαιτίας της αδυναμίας τοποθέτησης του αγαλματιδίου στο πλαίσιο του κατασκευαστή, χρειάστηκε να βρεθεί ένας διαφορετικός τρόπος σάρωσης του, που στηρίχθηκε στη δημιουργία ενός τεχνητού συστήματος αναφοράς. Με τη βοήθεια των οπών, οι οποίες απέχουν 25 mm μεταξύ τους, επετεύχθη η δυνατότητα μετακίνησης του αγαλματιδίου, αναλόγως με τις περιοχές που είναι για σάρωση. Τα νέφη που προκύπτουν απέχουν κάποια απόσταση μεταξύ τους, συνθέτονται όμως στο λογισμικό. Οι θέσεις των νεφών, όπως προκύπτει από το σαρωτή, φαίνονται στην εικόνα III.42:



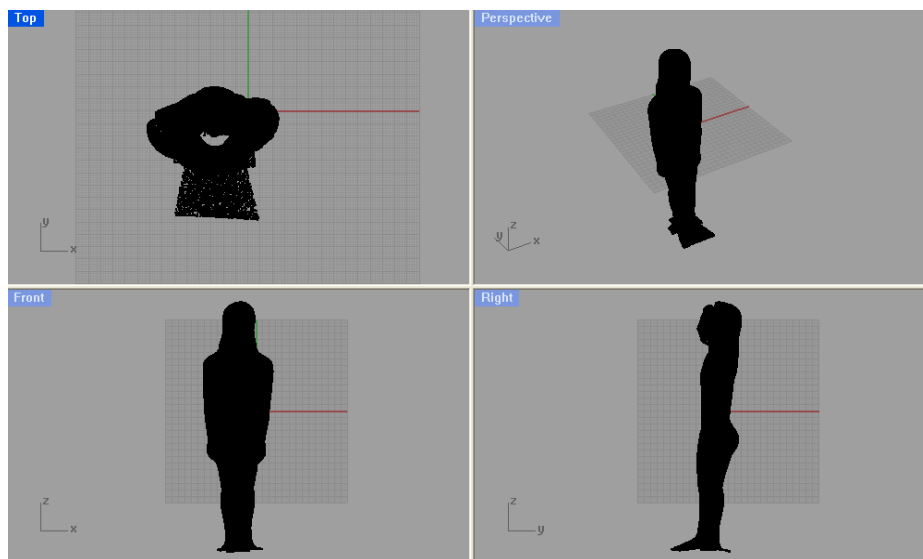
Εικόνα III. 42 Θέσεις των νεφών στο Rhinoceros

Πιο συγκεκριμένα, τα νέφη στην εικόνα III.43 φαίνονται σε κάτοψη, με το πράσινο νέφος να αποτελεί την οπίσθια όψη του αγαλματιδίου, το κόκκινο την εμπρόσθια, το μαύρο την δεξιά και το μπλε την αριστερή.



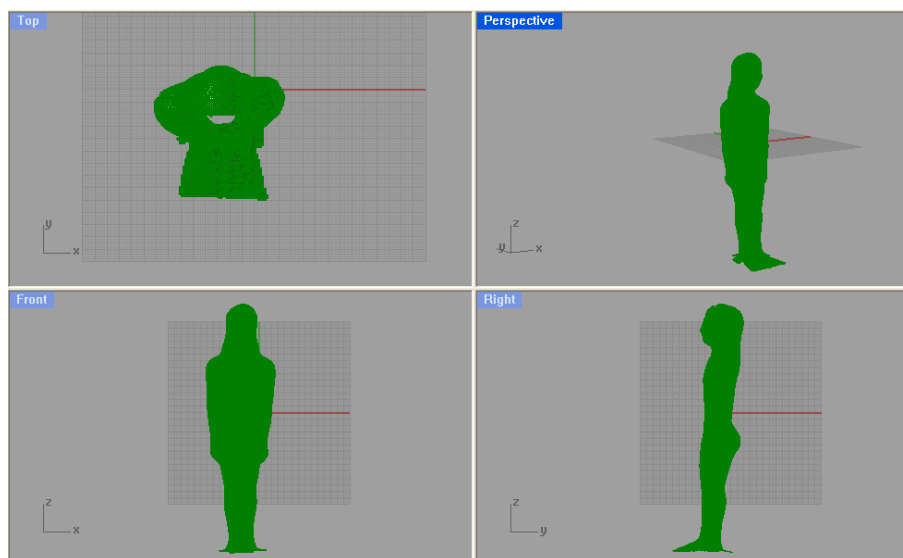
Εικόνα III. 43 Νέφη σε κάτοψη

Με σημείο αναφοράς το νέφος της οπίσθιας όψης (πράσινο νέφος) και σύμφωνα με τη σάρωση, όπως αυτή περιγράφεται στην παράγραφο III.1.3, μετακινούνται τα υπόλοιπα νέφη ως προς το πρώτο, μέχρι την πλήρη σύνθεσή τους. Πιο αναλυτικά, μετακινείται το νέφος της εμπρόσθιας όψης (κόκκινο νέφος) κατά 250 mm προς τα κάτω όπως φαίνεται στην εικόνα III.43, το νέφος της δεξιάς όψης (μαύρο νέφος) 25 mm προς τα αριστερά και 250 mm προς τα κάτω από τη θέση που βρίσκεται στην εικόνα III.43 και το νέφος της αριστερής όψης (μπλε νέφος) 100 mm προς τα δεξιά από τη θέση που βρίσκεται στην εικόνα III.43, με αποτέλεσμα να προκύπτει το πλήρες νέφος του αγαλαματιδίου όπως αυτό φαίνεται στην εικόνα (Εικόνα III.).



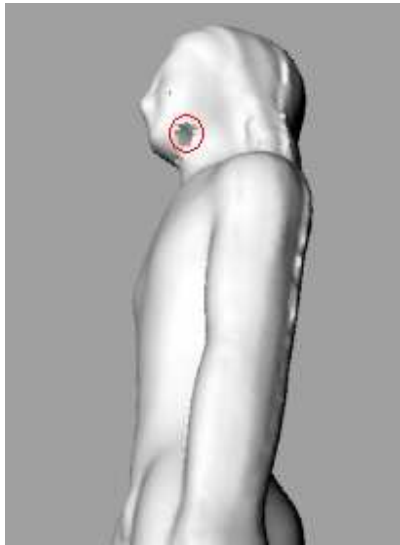
Εικόνα III. 44 Πλήρες νέφος

Στη συνέχεια, με την εντολή MeshFromPoints δημιουργείται το πλέγμα από το νέφος:



Εικόνα III. 45 Δημιουργία πλέγματος

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται τα σφάλματα του πλέγματος μαζί με μια μικρή επεξήγηση για τους λόγους που μπορεί να προέκυψαν.



Εικόνα III. 46 Πρώτο Διάκενο



Εικόνα III. 47 Δεύτερο διάκενο

Στις δύο παραπάνω εικόνες (Εικόνα III. και Εικόνα III.), εμφανίζονται κάποια διάκενα στο πλέγμα, τα οποία έχουν προκύψει από την αδυναμία της κεφαλής να φτάσει στα συγκεκριμένα σημεία κατά τη διάρκεια της σάρωσης, εξαιτίας του τρόπου που ήταν τοποθετημένο το αγαλματίδιο πάνω στο τραπέζι. Οι τρύπες αυτές μπορούν να καλυφθούν με την εντολή FillMeshHole. Τα αποτελέσματα της εντολής παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες.

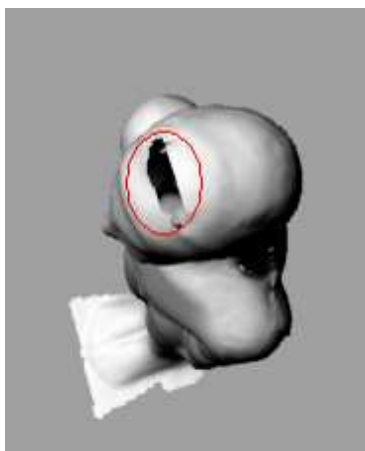


Εικόνα III. 48 Κάλυψη πρώτου διάκενου

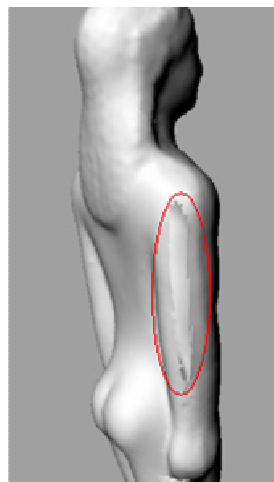


Εικόνα III. 49 Κάλυψη δεύτερου διάκενου

Στις δύο επόμενες εικόνες, φαίνονται δύο διάκενα στο πλέγμα, η φύση των οποίων, όμως, είναι διαφορετική από τα προηγούμενα. Κατά τη σάρωση με το συγκεκριμένο τρόπο, υπάρχει η πιθανότητα τμήματα της επιφάνειας να μη σαρωθούν σε καμιά από τις θέσεις στις οποίες τοποθετείται το αγαλματίδιο. Αυτό γίνεται, κυρίως, επειδή από τη στιγμή που η σύνθεση των νεφών δεν πραγματοποιείται μέσα από το λογισμικό του σαρωτή, δεν είναι δυνατή η παρατήρησή τους, με αποτέλεσμα να μένουν περιοχές χωρίς σάρωση και το πρόβλημα να αποκαλύπτεται κατά τη σύνθεση των νεφών στο Rhinoceros.

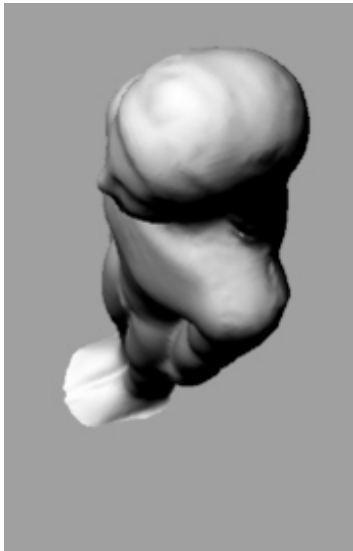


Εικόνα III. 50 Τρίτο διάκενο



Εικόνα III. 51 Τέταρτο διάκενο

Όπως και στην προηγούμενη, έτσι και σε αυτήν την περίπτωση, τα διάκενα μπορούν να διορθωθούν με την εντολή `FillMeshHole`, τα αποτελέσματα της οποίας εμφανίζονται στις δύο εικόνες που ακολουθούν.

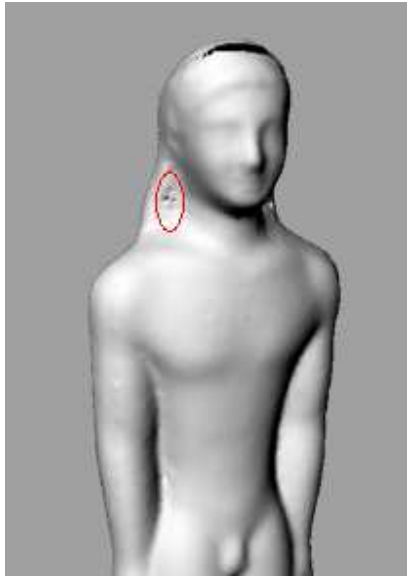


Εικόνα III. 52 Κάλυψη τρίτου διάκενου



Εικόνα III. 53 Κάλυψη τέταρτου διάκενου

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα III.) παρουσιάζεται μια ατέλεια του πλέγματος η οποία, κατά πάσα πιθανότητα, προκύπτει στη διαδικασία της σάρωσης από τυχαία σφάλματα κατά τη μέτρηση των συντεταγμένων από το σαρωτή. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ανάλογη περίπτωση, τα σφάλματα της μέτρησης των συντεταγμένων, μπορεί να έχουν προκύψει είτε από απότομες κινήσεις της κεφαλής, είτε εξαιτίας κάποιου τραντάγματος του τραπεζιού στήριξης του σαρωτή. Οι τριγωνικές επιφάνειες της συγκεκριμένης περιοχής μπορούν να διαγραφούν με την εντολή `DeleteMeshFaces` και τα κενά που προκύπτουν καλύπτονται με την εντολή `MeshFillHole`. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα III.55.

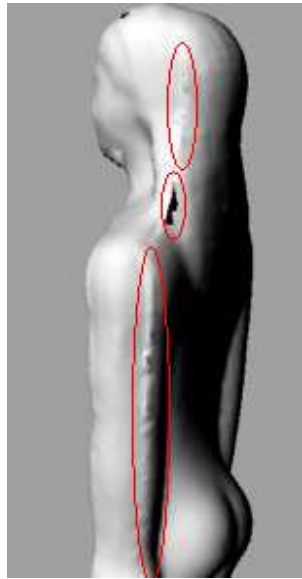


Εικόνα III. 54 Ανομοιομορφία πλέγματος



Εικόνα III. 55 Διόρθωση ανομοιομορφίας

Ο τελευταίος τύπος σφάλματος που προέκυψε, φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει γίνει επικάλυψη των νεφών κατά τη μετακίνησή τους στο Rhinoceros. Η μεθοδολογία σάρωσης του αγαλματιδίου, μπορεί να έδωσε τη δυνατότητα να μετακινείται το αγαλματίδιο πάνω στο τραπέζι, σύμφωνα με τις περιοχές που είναι για σάρωση, παραμένει όμως μια προσεγγιστική μέθοδος σύνθεσης των νεφών. Παρόλα αυτά, η επικάλυψη είναι πολύ μικρή και μετά το σβήσιμο των επίμαχων περιοχών με την εντολή `DeleteMeshFaces` και την κάλυψη των δημιουργούμενων κενών με την εντολή `FillMeshHole`, η επιρροή στην πιστότητα του μοντέλου είναι μηδαμινή. Οι δύο εικόνες που ακολουθούν καταδεικνύουν τη διαφορά πριν (Εικόνα III.56) και μετά την αναφερόμενη επέμβαση (Εικόνα III.57).

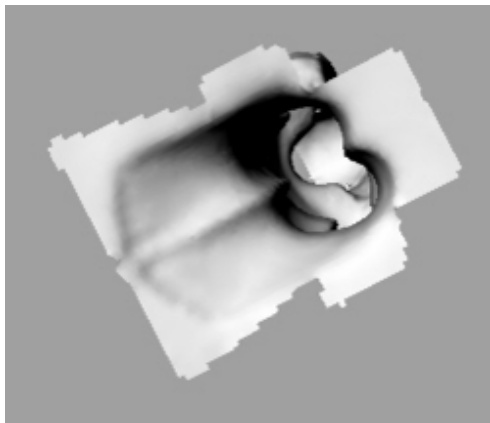


Εικόνα III. 56 Επικάλυψη πλεγμάτων

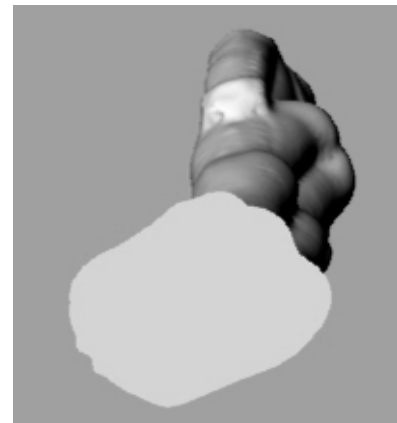


Εικόνα III. 57 Διόρθωση επικάλυψης

Το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας περιλαμβάνει το κλείσιμο του πλέγματος ώστε στη συνέχεια να γίνει στερεό. Το αγαλματίδιο είναι ανοιχτό κάτω από τα πόδια. Όπως και στα προηγούμενα κεραμικά, δημιουργείται μια επίπεδη επιφάνεια με την εντολή MeshPlane και στη συνέχεια με την εντολή MeshBooleanDifference, δημιουργείται ένα ενιαίο και κλειστό πλέγμα (Εικόνα III. και Εικόνα III.).



Εικόνα III. 58 Ανοιχτό πλέγμα

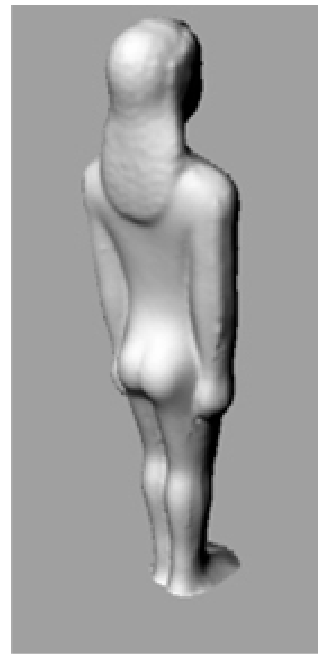


Εικόνα III. 59 Κλείσιμο πλέγματος

Με την εντολή MeshToSolid μετατρέπεται το κλειστό πλέγμα σε στερεό. Το τελικό στερεό μοντέλο που προκύπτει από την όλη διαδικασία που περιγράφηκε, παρουσιάζεται στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα III.60 και Εικόνα III.61).



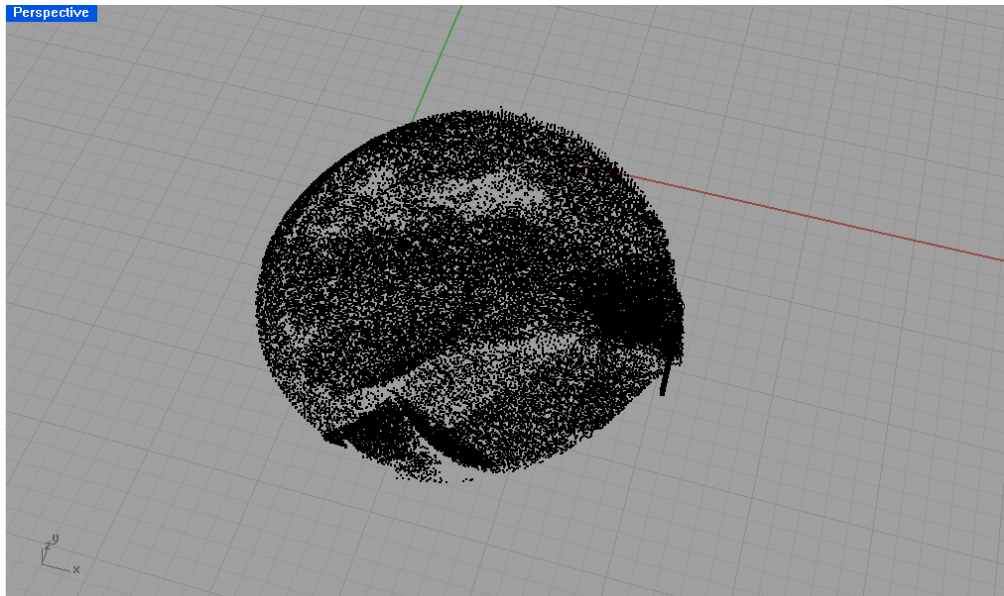
Εικόνα III. 60 Εμπρόσθια όψη στερεού



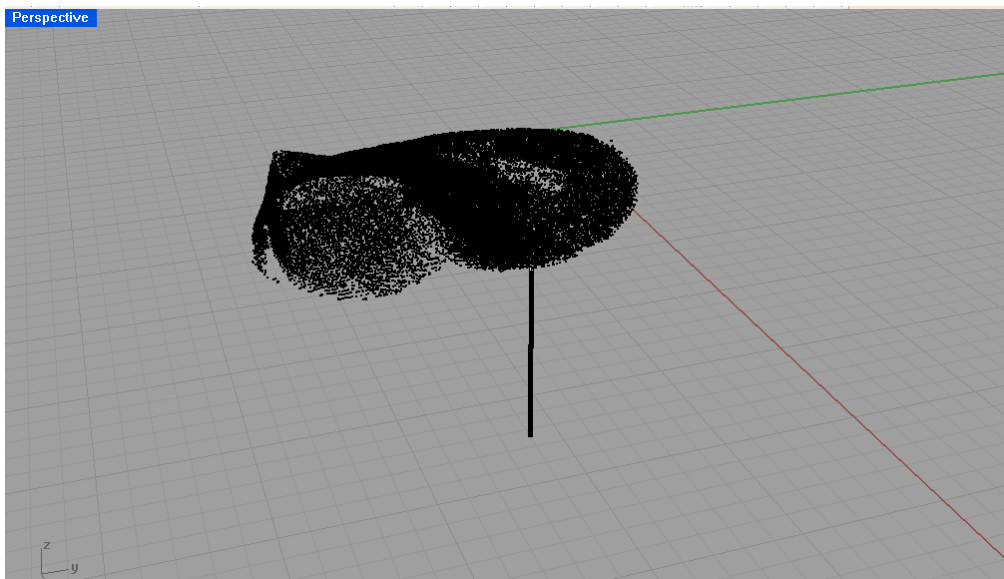
Εικόνα III. 61 Οπίσθια όψη στερεού

III.2.4 Κοιλίας στήριξης

Στη συγκεκριμένη παράγραφο, παρουσιάζεται το πρώτο από τα δύο μεταλλικά αντικείμενα που σαρώθηκαν, ο κοιλίας στήριξης. Το πρώτο βήμα, ως γνωστόν, περιλαμβάνει την εισαγωγή του νέφους σημείων νέφος στο Rhinoceros (Εικόνα III.)



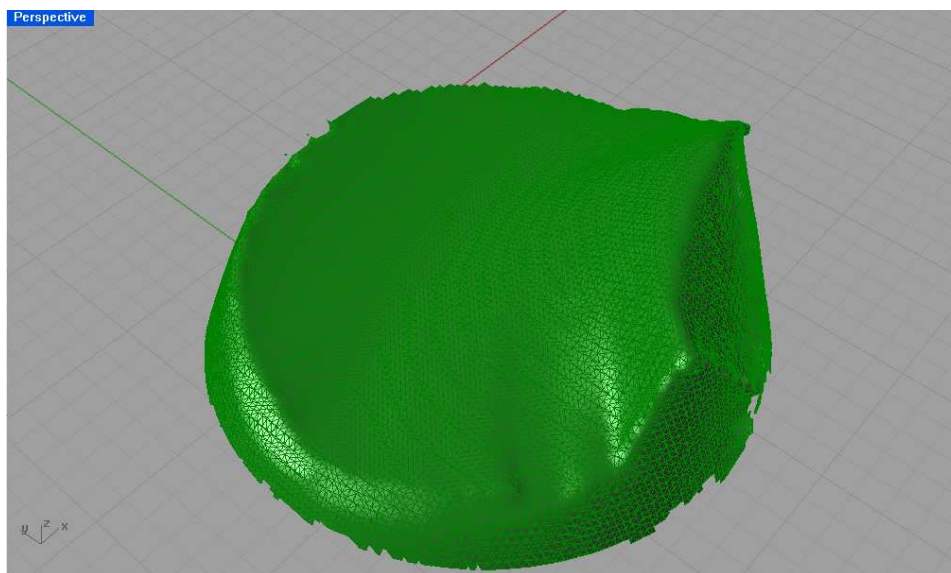
Εικόνα III. 62 Νέφος σημείων κοιλία



Εικόνα III. 63 Γραμμή σάρωσης

Στην εικόνα III.63, εκτός από το νέφος σημείων, είναι εμφανής και η απλή γραμμή που σαρώθηκε για την προσέγγιση του μήκους του βασικού σώματος του κοχλίου. Υπενθυμίζεται, ότι από τη στιγμή που δε σαρώθηκε το αντικείμενο στο σύνολό του ήταν αδύνατη η προσέγγιση του μήκους του βασικού σώματός του. Η γραμμή αυτή ξεκινάει από το κυρίως νέφος και η κατάληξή της δείχνει το πέρασ του βασικού σώματος. Με το συγκεκριμένο τέχνασμα επιτυγχάνεται ο ακριβής προσδιορισμός του μήκους. Ο τρόπος που χρησιμοποιείται θα περιγραφεί αργότερα.

Στη συνέχεια, με την εντολή MeshFromPoints δημιουργείται πλέγμα από το νέφος σημείων (Εικόνα III.).



Εικόνα III. 64 Πλέγμα κοχλίου

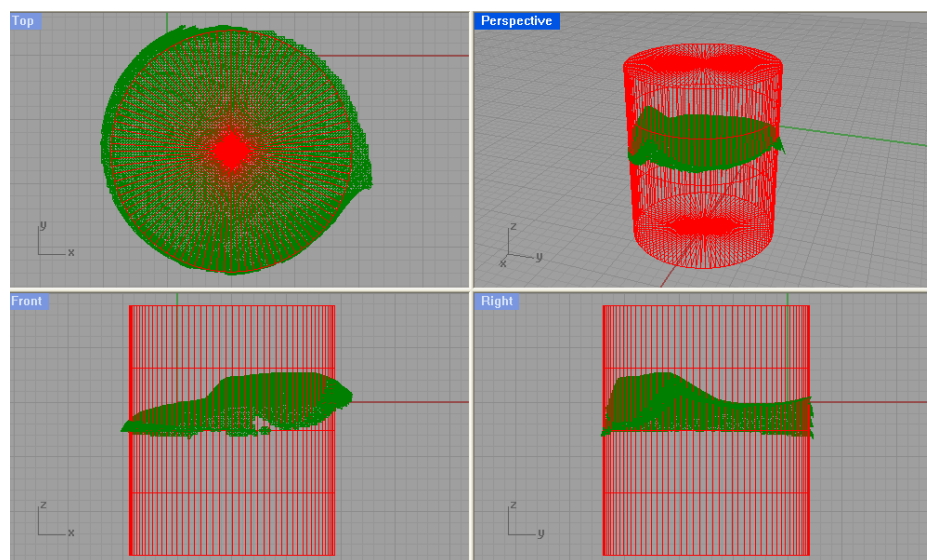
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στις περιπτώσεις των μεταλλικών αντικειμένων χρησιμοποιήθηκε ένας μεικτός τρόπος σχεδίασής τους. Η σάρωση ολόκληρων των αντικειμένων δεν ήταν εφικτή από τη στιγμή που ήταν μικρά σε μέγεθος και μεγάλα σε βάρος για να προσαρτηθούν στο πλαίσιο του κατασκευαστή. Η μέθοδος με το τεχνητό σύστημα αναφοράς επίσης δεν ήταν εφικτή, καθώς δεν επιτρέπει την περιστροφή τους, που είναι απαραίτητη για τη σάρωση των κυλινδρικών επιφανειών.

Η μεικτή σχεδίαση περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας κυλινδρικής επιφάνειας, η οποία θα προσαρμοστεί στο πλέγμα. Είναι σαφές ότι είναι αδύνατο να εφαρμοστεί μια κυλινδρική επιφάνεια στα όρια του πλέγματος (Εικόνα III.64), καθώς είναι τυχαία και σε τελείως

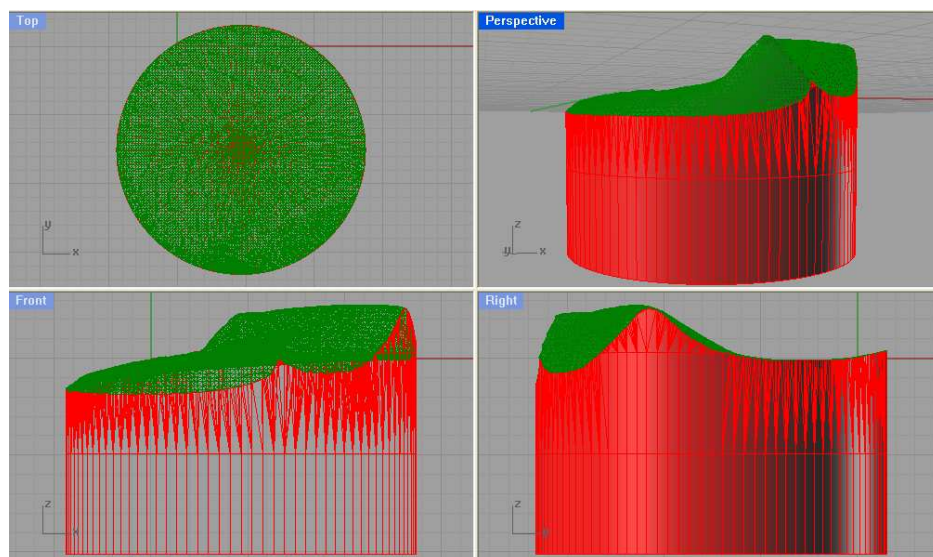
διαφορετικά επίπεδα μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό, η διάμετρος της κυλινδρικής επιφάνειας, πρέπει να είναι ελαφρώς μικρότερη από τη διάμετρο του πλέγματος. Κατόπιν, πρέπει να αποκοπεί το τμήμα του πλέγματος που βρίσκεται έξω από τον κύλινδρο, ώστε κύλινδρος και πλέγμα να αποκτήσουν κοινή διάμετρο και στη συνέχεια να αποκοπεί το τμήμα του κυλίνδρου πάνω από το πλέγμα ώστε να αποκτήσουν και τα δύο κοινά όρια. Στην εικόνα III.65 φαίνεται το πλέγμα και η διάμετρος του κυλίνδρου καθώς και τα τμήματα του πλέγματος και του κυλίνδρου που θα αποκοπούν χρησιμοποιώντας την εντολή MeshTrim, ενώ στην εικόνα III.66 φαίνεται το πλέγμα στο σύνολό του, μετά την αποκοπή των εν λόγω τμημάτων του πλέγματος και του κυλίνδρου.

Στη συνέχεια, με την εντολή MeshPlane δημιουργείται ένα επίπεδο, το οποίο τοποθετείται στο τελείωμα της γραμμής σάρωσης, όπως φαίνεται στην εικόνα III.67 με το μαύρο χρώμα, ενώ με την εντολή MeshBooleanDifference, αποκόπτεται το τμήμα του κυλίνδρου που δεν χρειάζεται, με τον κύλινδρο που προκύπτει να έχει το ακριβές μήκος του πραγματικού αντικειμένου, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα III.68.

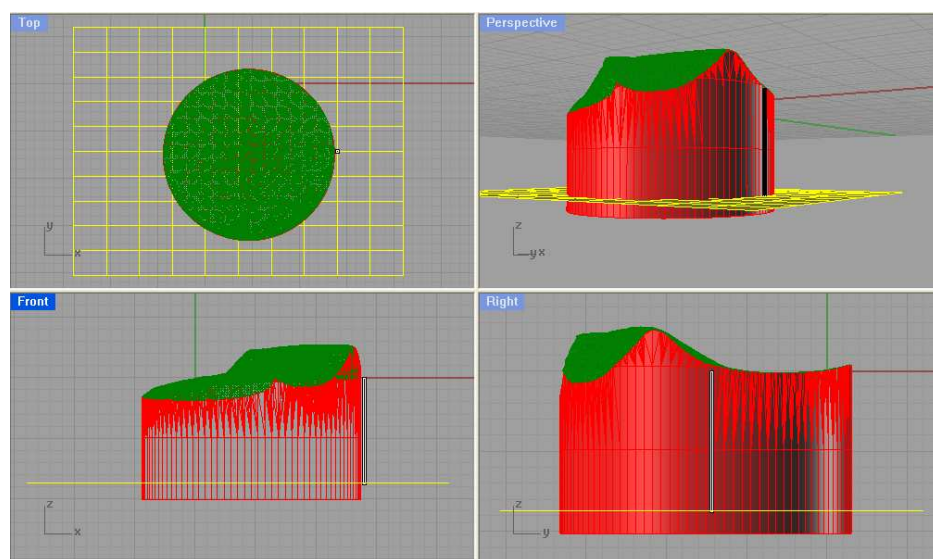
Με την εντολή Join, ενώνονται τα δύο πλέγματα σε ένα και με την εντολή MeshToNurb μετατρέπεται το κάθε τρίγωνο του πλέγματος σε επιφάνεια. Σώζοντας το αρχείο σε μορφή .IGES, μετατρέπεται σε στερεό, όπως φαίνεται στην εικόνα III.69.



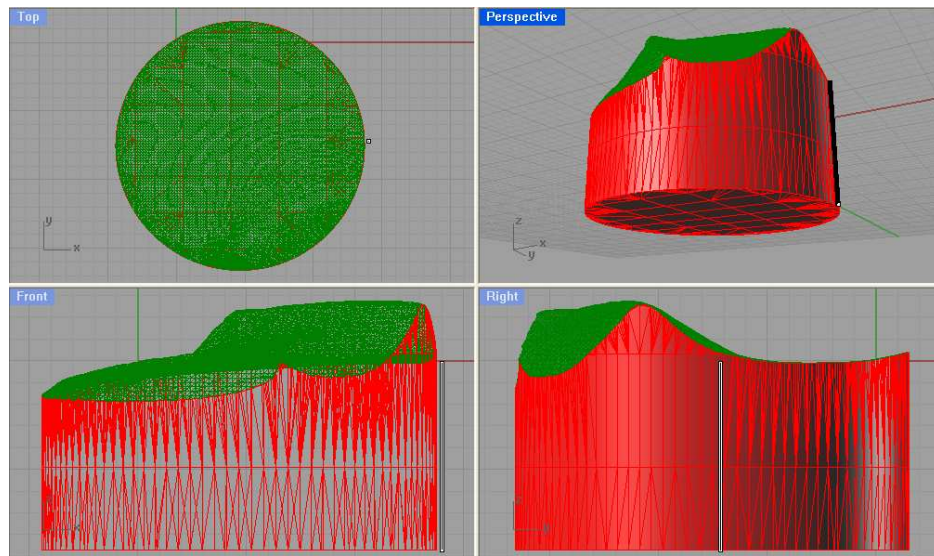
Εικόνα III. 65 Αποκοπή πλέγματος



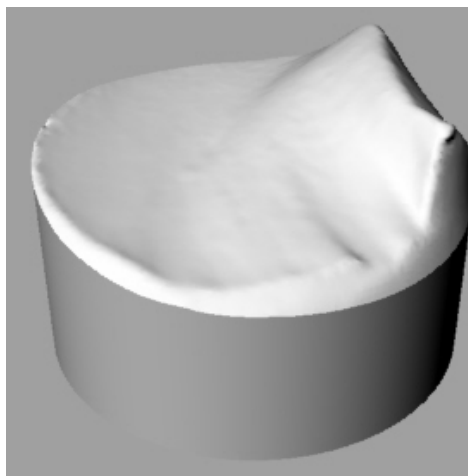
Εικόνα III. 66 Αποκοπή πάνω τμήματος κυλίνδρου



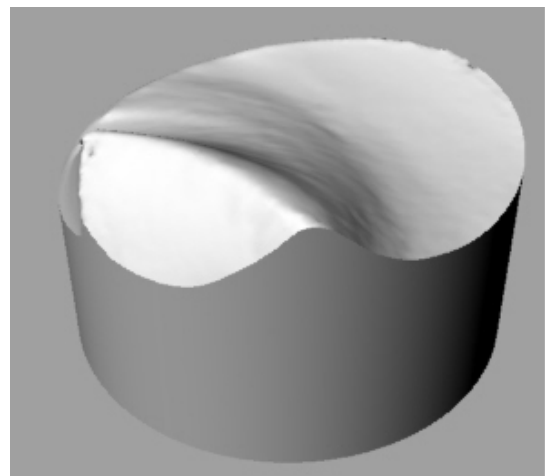
Εικόνα III. 67 Δημιουργία επιπέδου για προσδιορισμό μήκους



Εικόνα III. 68 Προσδιορισμός μήκους βασικού σώματος



(α)



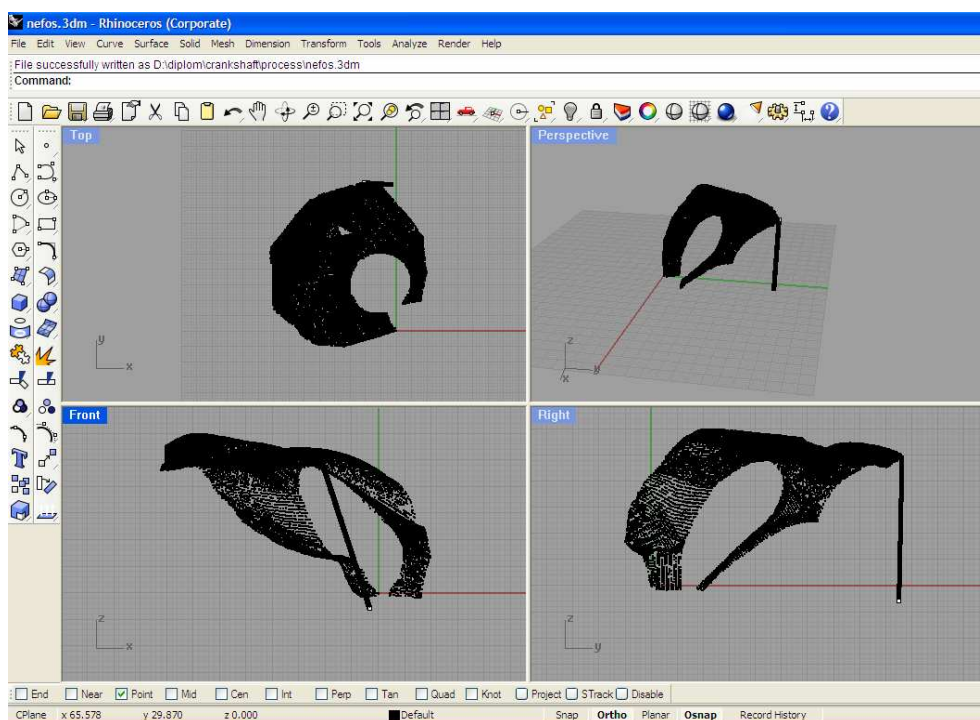
(β)

Εικόνα III. 69 Δύο όψεις του στερεού μοντέλου

III.2.5 Στροφαλοφόρος άξονας Jeep

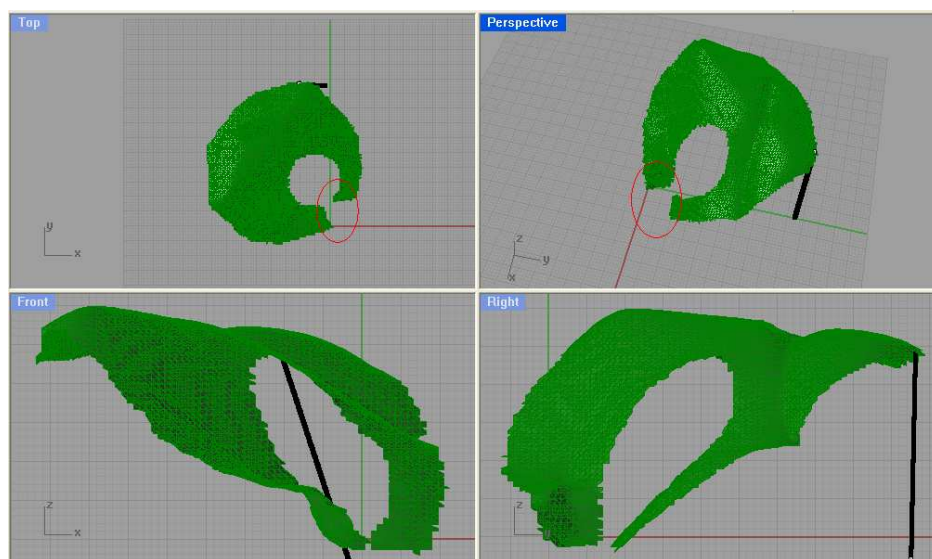
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η μέθοδος μοντελοποίησης του στροφαλοφόρου άξονα Jeep. Το συγκεκριμένο αντικείμενο έχει αρκετές ιδιαιτερότητες, που κάνουν την επεξεργασία του αρκετά διαφορετική και πιο περίπλοκη από ότι ίσχυε για το προηγούμενο μεταλλικό αντικείμενο.

Αρχικά εισάγεται το νέφος σημείων στο Rhinoceros (Εικόνα III.).



Εικόνα III. 70 Νέφος σημείων στροφαλοφόρου

Στη παραπάνω εικόνα, πέρα από το νέφος σημείων, διακρίνεται και η απλή γραμμή σάρωσης, η οποία ακολουθεί την ίδια μεθοδολογία της προηγούμενης παραγράφου. Η γραμμή ξεκινά από την επιφάνεια σάρωσης και καταλήγει στη βάση του κυλινδρικού σώματος του στροφαλοφόρου και χρησιμοποιείται, όπως και στην περίπτωση του κοχλία στήριξης, στην προσέγγιση του μήκους αυτού κατά την επεξεργασία στο Rhinoceros. Κατόπιν, όπως φαίνεται στην εικόνα III.71 με την εντολή MeshFromPoints, δημιουργείται το πλέγμα από το νέφος σημείων:

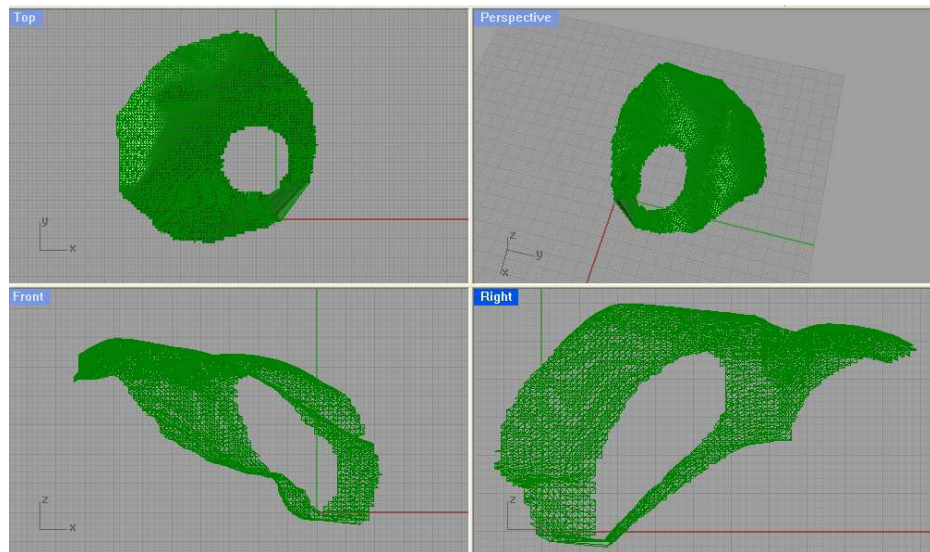


Εικόνα III. 71 Περιοχή εφαρμογής βοηθητικών τριγωνικών επιφανειών

Όπως και στο προηγούμενο μεταλλικό αντικείμενο, χρησιμοποιείται ένας μεικτός τρόπος μοντελοποίησης, καθώς δεν ήταν δυνατή η σάρωση του αντικειμένου στο σύνολό του. Γι'αυτό το λόγο τονίζεται ότι η μέθοδος μοντελοποίησης είναι προσεγγιστική καθώς και τα εργαλεία που προσφέρει το λογισμικό Rhinoceros, δεν μπορούν να προσφέρουν περαιτέρω ακρίβεια. Το συγκεκριμένο μεταλλικό αντικείμενο παρουσιάζει αρκετές διαφορές από το προηγούμενο, κάτι που οδήγησε στην πραγματοποίηση διαφορετικών βημάτων κατά την επεξεργασία. Είναι σαφές από την εικόνα (Εικόνα III.), ότι εκτός από την εξωτερική κυλινδρική επιφάνεια, η οποία προσεγγίζει τη διάμετρο του στροφαλοφόρου άξονα, απαιτείται ακόμα μια κυλινδρική επιφάνεια μικρότερης διαμέτρου, η οποία να προσεγγίζει τη διάμετρο της εσωτερικής κυλινδρικής επιφάνειας αυτού.

Επίσης, η αστοχία του άξονα είναι τέτοια που δεν επιτρέπει στο πλέγμα να είναι κλειστό. Το γεγονός ότι τα άκρα του δεν συναντιούνται (κόκκινος κύκλος στην Εικόνα III.), δεν επιτρέπει, κατά πρώτον, την αποκοπή εκείνου του τμήματος του πλέγματος, ώστε αυτό να αποκτήσει τη διάμετρο του κυλίνδρου (υπενθυμίζεται ότι δεν είναι δυνατή η εφαρμογή κυλινδρικής επιφάνειας στα όρια του πλέγματος με τη μορφή που έχουν αυτά στην Εικόνα III.), και κατά δεύτερον, την αποκοπή εκείνου του τμήματος του κυλίνδρου, ώστε αυτός να αποκτήσει τη μορφή του πλέγματος.

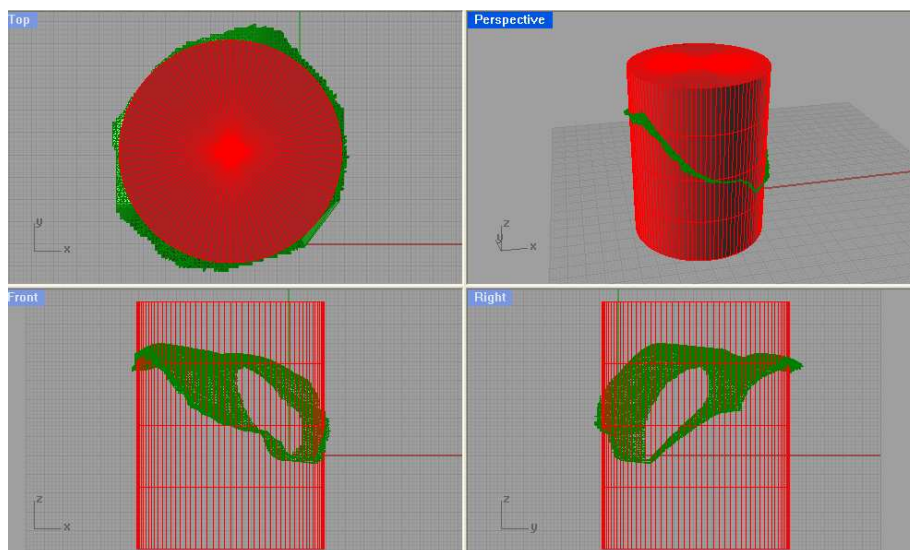
Με την εντολή PatchSingleFace, δημιουργούνται βοηθητικές τριγωνικές επιφάνειες, οι οποίες θα κλείσουν το πλέγμα στις επίμαχες περιοχές, ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή των κυλίνδρων (Εικόνα III.).



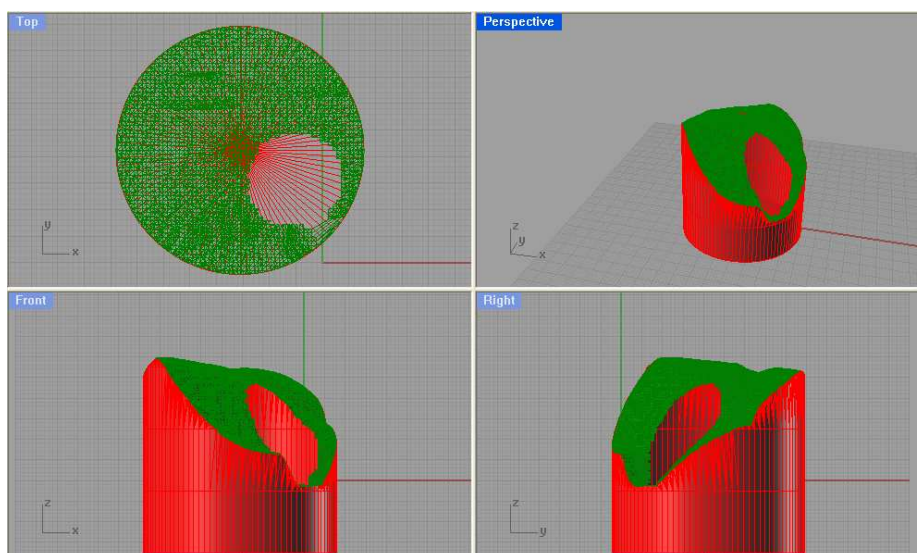
Εικόνα III. 72 Κλείσιμο πλέγματος

Στη συνέχεια δημιουργείται η εξωτερική κυλινδρική επιφάνεια με την εντολή `MeshCylinder`. Στην Εικόνα III.73 φαίνονται καθαρά τα εξέχοντα τμήματα του πλέγματος και του κυλίνδρου που πρέπει να αποκοπούν με την εντολή `MeshTrim` και στην εικόνα III.74 φαίνεται το αποτέλεσμα αυτής της αποκοπής.

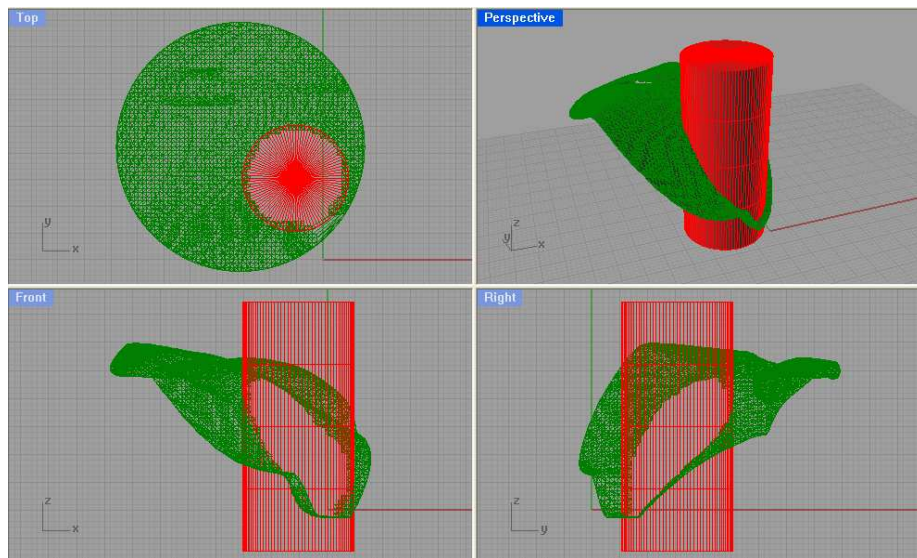
Η εσωτερική κυλινδρική επιφάνεια δημιουργείται με τρόπο ακριβώς ίδιο με της εξωτερικής, χρησιμοποιώντας την εντολή `MeshCylinder` (Εικόνα III.75). Στη συγκεκριμένη περίπτωση αποκόπεται το εσωτερικό τμήμα του πλέγματος και το πάνω μέρος του κυλίνδρου με την εντολή `MeshTrim` (Εικόνα III.). Με την εντολή `MeshBooleanDifference` οι δύο κύλινδροι γίνονται ένα σώμα (Εικόνα III. και Εικόνα III.)



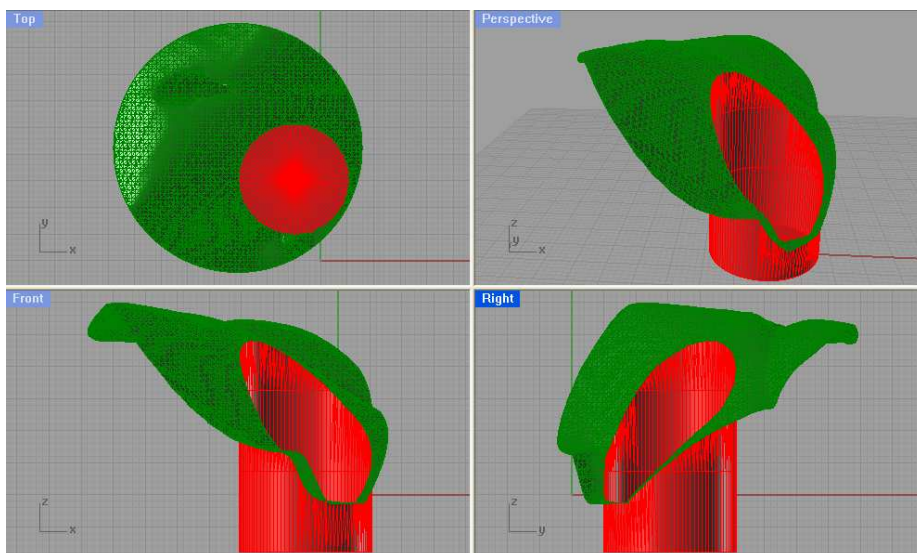
Εικόνα III. 73 Τμήματα πλέγματος και κυλίνδρου που αποκόπτονται



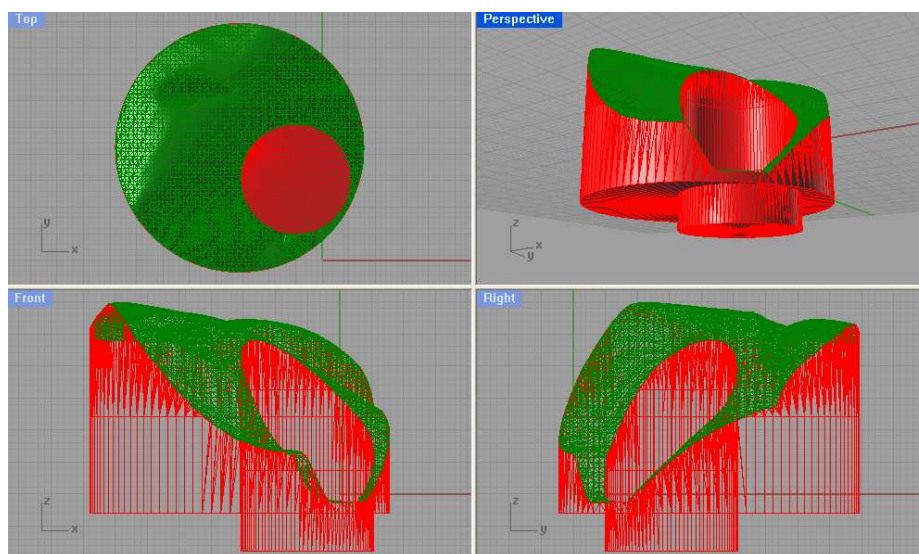
Εικόνα III. 74 Πλέγμα και εξωτερικός κύλινδρος μετά την αποκοπή



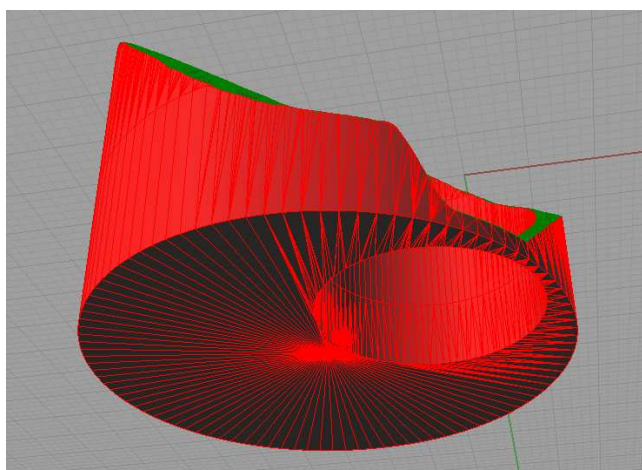
Εικόνα III. 75 Εσωτερικό τμήμα του πλέγματος και του κυλίνδρου που αποκόπτονται



Εικόνα III. 76 Πλέγμα και εσωτερικός κύλινδρος μετά την αποκοπή



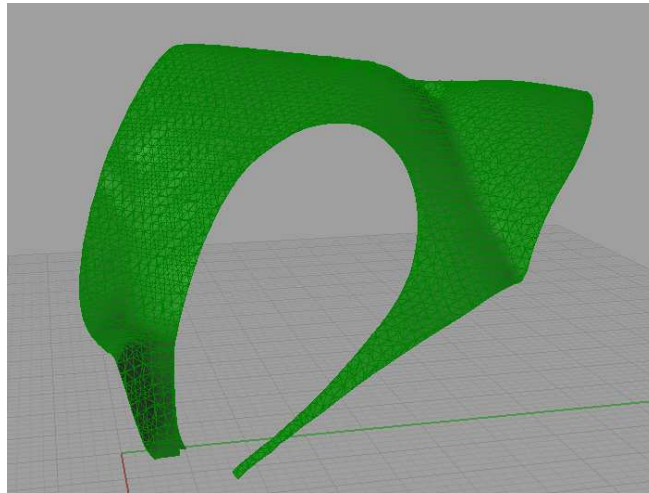
Εικόνα III. 77 Πριν την εντολή MeshBooleanDifference



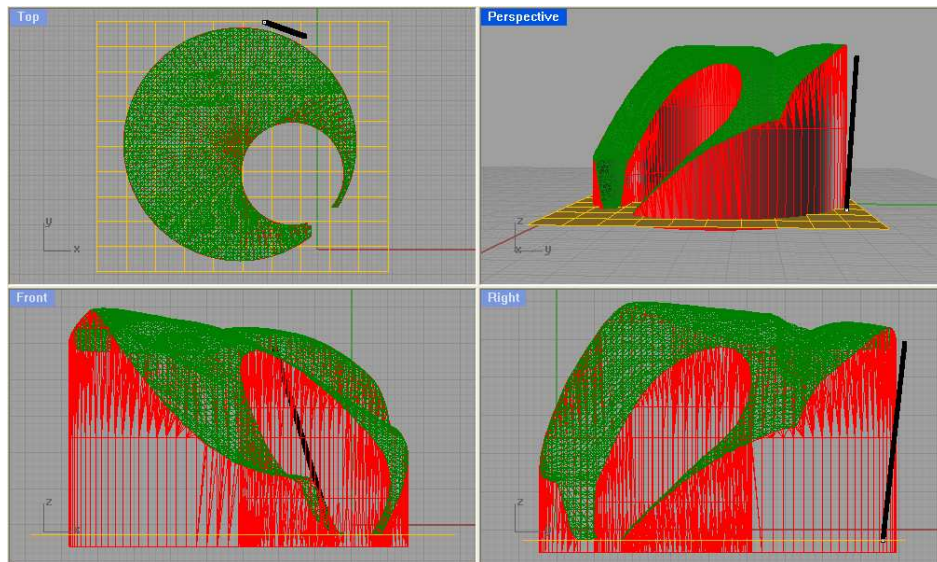
Εικόνα III. 78 Μετά την εντολή MeshBooleanDifference

Στη συνέχεια, διαγράφονται οι βοηθητικές τριγωνικές επιφάνειες που έκλεισαν το πλέγμα με την εντολή DeleteMeshFaces (Εικόνα III.), ώστε να επανεμφανιστεί το κενό του πλέγματος.

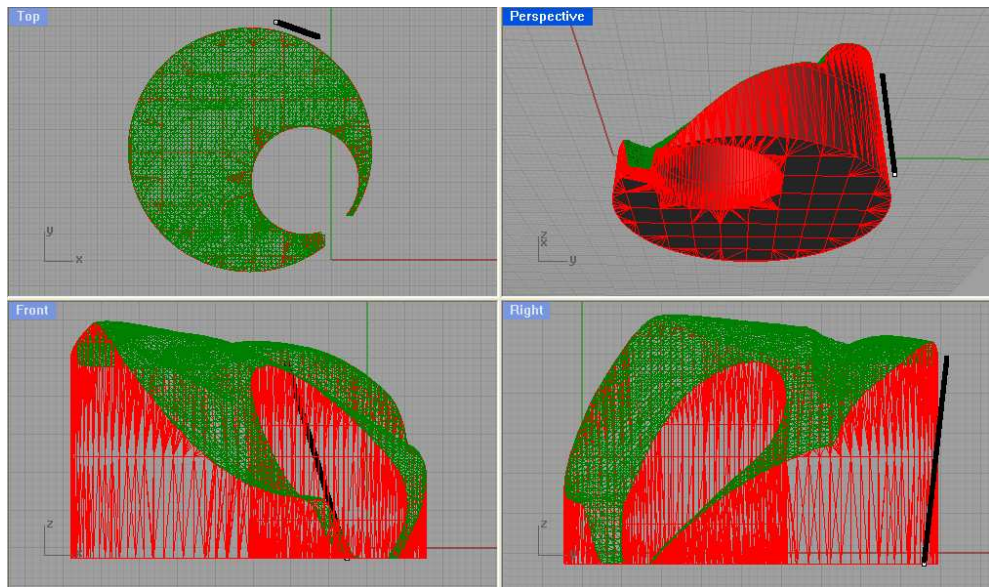
Με την εντολή MeshPlane δημιουργείται μια επίπεδη επιφάνεια, η οποία τοποθετείται στο τέλος της απλής γραμμής του κυλίνδρου και με την εντολή MeshBooleanDifference, αποκόπτεται το κομμάτι του κυλινδρικού σώματος που είναι κάτω από την επιφάνεια, ώστε να αποκτήσει το κυλινδρικό σώμα το μήκος του πραγματικού αντικειμένου (Εικόνα III. και Εικόνα III.)



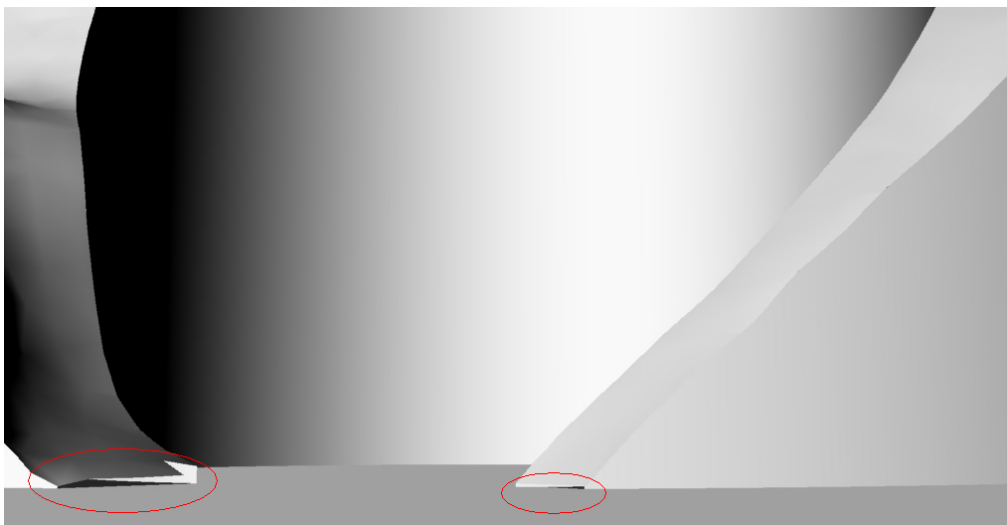
Εικόνα III. 79 Πλέγμα μετά τη διαγραφή βοηθητικών τριγωνικών επιφανειών



Εικόνα III. 80 Δημιουργία επίπεδης επιφάνειας για προσδιορισμό μήκους βασικού σώματος



Εικόνα III. 81 Πραγματικό μήκος βασικού σώματος



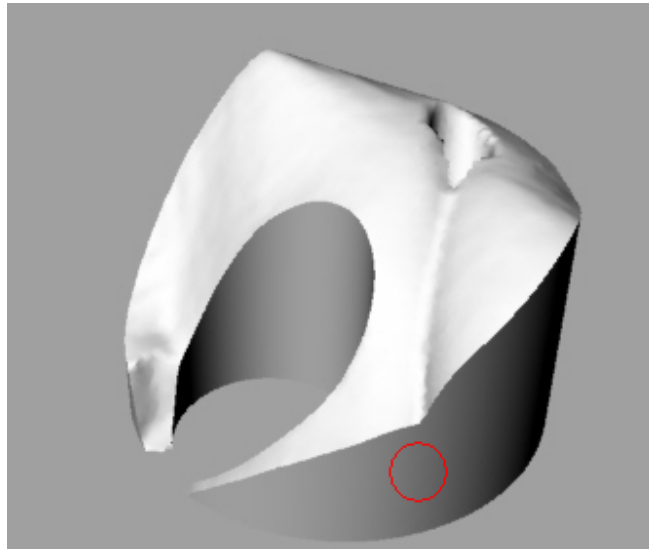
Εικόνα III. 82 Διάκενα στα όρια του πλέγματος με τον κύλινδρο

Με την εντολή `PatchSingleFace` καλύπτονται κάποια μικρά κενά που έχουν δημιουργηθεί στα όρια του πλέγματος με το κυλινδρικό σώμα (Εικόνα III.), ενώ με την εντολή `Join` ενώνονται όλα τα πλέγματα σε ένα (Εικόνα III.)

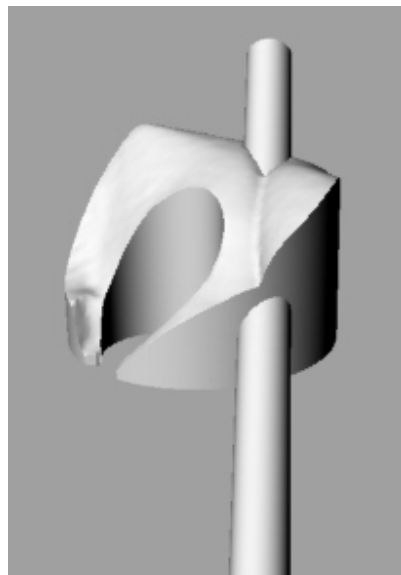


Εικόνα III. 83 Ενιαίο πλέγμα

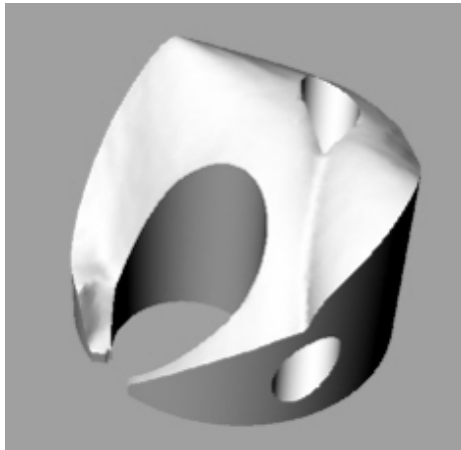
Τέλος, αναφέρεται ότι στο πραγματικό αντικείμενο υπάρχει μια διαμπερής οπή με κλίση, η οποία το διαπερνά (Εικόνα III.). Όπως είναι λογικό, είναι αδύνατο να προσδιοριστεί επακριβώς η θέση της οπής, από τη στιγμή που δε σαρώθηκε, στο σύνολό του, το κυλινδρικό σώμα του αντικειμένου. Γι'αυτό και η δημιουργία της θα πραγματοποιηθεί με προσεγγιστικό τρόπο. Με την εντολή `MeshCylinder` δημιουργείται ένας κύλινδρος, με διάμετρο περίπου ίδια με αυτή της οπής, ο οποίος με την κατάλληλη μετακίνηση και περιστροφή, εφαρμόζεται το δυνατό καλύτερα σε αυτήν και καταλήγει όσο το δυνατό πιο κοντά στο πέρας της οπής στο κυλινδρικό σώμα (Εικόνα III.). Τέλος, με την εντολή `MeshBooleanDifference`, δημιουργείται η οπή (**Error! Reference source not found.**). Με την εντολή `MeshToNurb`, μετατρέπεται όλο το πλέγμα σε επιφάνειες και αποθηκεύοντας το αρχείο σε μορφή IGES μετατρέπεται σε στερεό.



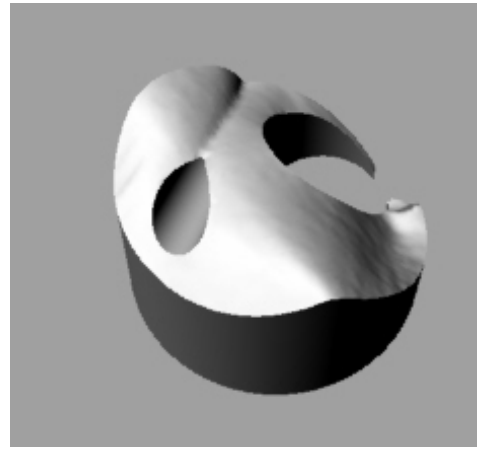
Εικόνα III. 84 Περιοχή στην οποία πρέπει να δημιουργηθεί η οπή



Εικόνα III. 85 Τρόπος δημιουργίας της οπής



(α)



(β)

Εικόνα III. 86 Δύο όψεις του στερεού μοντέλου

III.2.6 Περιγραφή ρουτίνων του Rhinoscript

Περιγράφονται οι ρουτίνες του Rhinoscript με τις οποίες επιχειρείται μια αυτοματοποίηση της διαδικασίας. Δημιουργούνται δύο ρουτίνες οι οποίες απευθύνονται σε δύο περιπτώσεις που αφορούν στα κεραμικά, που χρησιμοποιήθηκαν. Και αυτό διότι μόνο στην περίπτωση των κεραμικών αυτών είναι δυνατόν να υπάρξει μια αυτοματοποίηση της διαδικασίας, καθώς υπάρχει μια τυποποίησή της με βάση κάποια σταθερά βήματα. Παρόλα αυτά, τονίζεται ότι αυτοματοποιείται μια διαδικασία που αφορά καθαρά σε ανάγλυφες επιφάνειες, οι οποίες είναι και οι δυσκολότερες. Στην περίπτωση που το αντικείμενο δεν είναι καθαρά ανάγλυφο, όπως είναι τα μηχανολογικά εξαρτήματα και περιέχει κάποιες δεδομένες γεωμετρικές μορφές, όπως είναι η σφαίρα, το παραλληλόγραμμο ή ο κύλινδρος, η διαδικασία δεν μπορεί να αυτοματοποιηθεί. Αυτό είναι προφανές αφού μπορεί να υπάρχουν άπειροι συνδυασμοί τέτοιων γεωμετρικών μορφών. Οι στάνταρ γεωμετρικές μορφές των σχεδιαστικών προγραμμάτων ουσιαστικά καταστρέφουν τη γενικότητα που διέπει τα νέφη σημείων, με αποτέλεσμα τα μοντέλα να αρχίζουν να εμπίπτουν σε κατηγορίες, ανάλογα με τις γεωμετρικές μορφές που περιέχουν. Κάτι τέτοιο δεν είναι επιθυμητό στα πλαίσια της παρούσης, δεδομένου ότι γίνεται εστίαση στις ανάγλυφες επιφάνειες. Ο συνδυασμός ανάγλυφων επιφανειών με βασικές γεωμετρικές επιφάνειες απαιτεί αρκετά καλή εξοικείωση του χρήστη με το λογισμικό Rhinoceros, ώστε να μπορεί ο τελευταίος να διαχειρίζεται ταυτόχρονα τις γεωμετρικές μορφές και τα νέφη σημείων.

Η πρώτη από τις δύο ρουτίνες, η οποία είναι και η βασική, αφορά στη δημιουργία του στερεού μοντέλου από το νέφος σημείων. Χρησιμοποιούνται όλες οι εντολές με τον τρόπο που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, ενώ συγχρόνως παρουσιάζονται μηνύματα, τα οποία καθοδηγούν το χρήστη για τον τρόπο με τον οποίο θα χειριστεί τις εντολές ώστε να προκύψει ένα σωστό στερεό μοντέλο. Γίνεται σαφές ότι τα μηνύματα αυτά δημιουργούν ένα ιδιαίτερα φιλικό περιβάλλον προς το χρήστη από τον οποίο δεν απαιτείται καμία πρότερη εξοικείωση με το λογισμικό. Συγκεκριμένα εμφανίζονται διευκρινιστικά μηνύματα για όλες τις εντολές. Για την εντολή MeshPlane τονίζεται ότι δημιουργείται ένα επίπεδο το οποίο κλείνει το πλέγμα από την κάτω πλευρά και ότι χρειάζεται μετακίνηση σε μια επιθυμητή θέση πριν πραγματοποιηθεί αυτό, ενώ στην περίπτωση της προτομής μπορεί να χρειαστεί και περιστροφή αυτού. Για την εντολή MeshTrim ο χρήστης πληροφορείται τη χρησιμότητα της εντολής με την αποκοπή των περιττών τμημάτων του πλέγματος, και το πώς πραγματοποιείται αυτή μέσω συμβουλών ώστε να επιλεγεί σωστά η επιφάνεια που θα τμήσει το στερεό και η επιφάνεια που θα κοπεί. Η ρουτίνα ενημερώνει το χρήστη ότι με την εντολή MeshBooleanDifference ενώνονται δύο πλέγματα και ότι σημαντικό ρόλο σε αυτό κατέχει η σειρά με την οποία θα επιλεγούν τα πλέγματα. Τέλος, περιγράφονται αναλυτικά όλες οι εντολές που αφορούν στη διόρθωση του πλέγματος, όπως η DeleteMeshFaces, η FillMeshHole και η PatchSingleFace, με σαφή μηνύματα για το πώς θα χρησιμοποιηθούν. Επισημαίνεται ότι η ρουτίνα “επικοινωνεί” με το χρήστη μετά το πέρας της κάθε εντολής και επιστρέφει σε αυτή αν δεν έχει φέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Η χρήση της δεύτερης ρουτίνας προηγείται της πρώτης στην περίπτωση που ο χρήστης θέλει να πραγματοποιήσει σύνθεση νεφών μέσα στο λογισμικό, κάτι που συμβαίνει στην περίπτωση του αγαλματιδίου με τη μορφή του αρχαίου κούρου. Ο τρόπος σάρωσης του αγαλματιδίου, όπως αυτός περιγράφεται σε προηγούμενο κεφάλαιο, δημιουργεί τέσσερα διαφορετικά νέφη σημείων, τα οποία αποθηκεύονται σε τέσσερα διαφορετικά αρχεία κειμένου. Πριν την έναρξη της διαδικασίας, τα δεδομένα των νεφών πρέπει να αποθηκευτούν σε ένα αρχείο. Κατόπιν, ξεκινάει το τρέξιμο της ρουτίνας με την εντολή “open” να εισάγει τα δεδομένα στο Rhinoceros. Παρόλο που τα νέφη είναι διακριτά μέσα στο Rhinoceros, εντούτοις αυτό τα βλέπει ως μια οντότητα, εξαιτίας της “κοινής τους καταγωγής” από ένα αρχείο δεδομένων, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να μετακινηθεί το κάθε ένα ξεχωριστά από το άλλο. Η ρουτίνα ενημερώνει το χρήστη για όλα τα παραπάνω και με τη χρήση της εντολής “Explode “ τον προτρέπει να επιλέξει όλα τα νέφη για να τα σπάσει σε διακριτά σημεία. Κατόπιν, επεξηγεί με μηνύματα τον τρόπο με τον οποίο θα κάνει το κάθε νέφος ξεχωριστή

οντότητα με την εντολή “Pointcloud”. Στη συνέχεια ενημερώνει για το πώς θα μετακινηθούν σχετικά τρία από τα νέφη ως προς ένα, το οποίο θα αποτελεί και το σημείο αναφοράς, ώστε να δημιουργηθεί το πλήρες νέφος. Η ρουτίνα, αφού επιβεβαιώσει, ρωτώντας το χρήστη, ότι η μετακίνηση των νεφών έχει γίνει σωστά, σώζει το πλήρες νέφος σημείων, στο οποίο μπορεί πλέον να εφαρμοστεί η ρουτίνα για τη δημιουργία του στερεού μοντέλου.

Οι ρουτίνες παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα, στο τέλος της εργασίας.

IV. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η γνώση της τεχνικής δημιουργίας στερεών αντικειμένων, από τη σάρωση μέχρι και τη δημιουργία σε ένα λογισμικό CAD. Για τις ανάγκες της σαρώθηκαν δύο ειδών αντικείμενα: κεραμικά και μεταλλικά. Τα κεραμικά αντικείμενα σαρώθηκαν προκειμένου να σχεδιαστούν τα κατάλληλα καλούπια ώστε να μπορούν να παράγονται ακριβή αντίγραφα των αντικειμένων που σαρώθηκαν. Η σάρωση των μεταλλικών αντικειμένων αποσκοπούσε στην εφαρμογή της ανάστροφης μηχανολογίας στη μελέτη αστοχίας. Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, η δημιουργία στερεών μοντέλων ήταν απαραίτητη και στις δύο των περιπτώσεων. Η σάρωση πραγματοποιήθηκε από ένα laser οπτικό σαρωτή του Εργαστηρίου Ναυπηγικής τεχνολογίας.

Τα κεραμικά αντικείμενα που σαρώθηκαν έχουν πολλών ειδών γεωμετρίες. Για τη σάρωσή τους εφαρμόστηκαν διάφορες μέθοδοι, ανάλογα με τη γεωμετρία της επιφάνειας. Στην περίπτωση του προσωπείου, πρόκειται για μια πολύ απλή σάρωση. Το προσωπείο ήταν κλειστό από πίσω με επίπεδη επιφάνεια, η οποία κατά πρώτον δε χρειαζόταν σάρωση και κατά δεύτερον την διευκόλυνε κατά πολύ, καθώς το αντικείμενο μπορούσε να στηριχθεί πάνω σε αυτήν και να σαρωθεί χωρίς να χρειαζόταν οποιαδήποτε μετακίνηση ή περιστροφή. Επίσης, οι λεπτομέρειες της συγκεκριμένης κεραμικής επιφάνειας ήταν σχετικά απλές με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται σάρωση με πολύ μικρή ανάλυση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός αρχείου δεδομένων μικρό σε μέγεθος, το οποίο βοηθούσε στην εύκολη διαχείρισή του κατά την επεξεργασία στο λογισμικό και συγχρόνως παρήγαγε μοντέλο με μεγάλη πιστότητα. Το αρχείο εισάχθηκε στο λογισμικό Rhinoceros και κατόπιν επεξεργασίας δημιουργήθηκε το στερεό μοντέλο.

Το δεύτερο αντικείμενο που σαρώθηκε, ήταν μια προτομή ενός αλόγου. Πρόκειται για μια σύνθετη, τρισδιάστατη επιφάνεια, με λεπτομέρειες στο σύνολό της, η οποία χρειάστηκε εξολοκλήρου σάρωση. Για την πραγματοποίηση της σάρωσης χρησιμοποιήθηκε ένα πλαίσιο που προσφέρει ο κατασκευαστής το οποίο επέτρεψε τόσο τη μετακίνηση όσο και την περιστροφή του αντικειμένου. Το αντικείμενο προσαρτήθηκε στο πλαίσιο και περιστράφηκε ανάλογα με το προς σάρωση τμήμα της επιφάνειας. Επιλέχθηκε ανάλυση σάρωσης τέτοια ώστε να έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πιστού αντιγράφου από σχετικά μικρό αρχείο

δεδομένων. Με το πέρας της σάρωσης, το αρχείο εισάχθηκε στο λογισμικό Rhinoceros για τη δημιουργία του στερεού μοντέλου.

Το τρίτο κεραμικό αντικείμενο αποτέλεσε και την πιο ιδιαίτερη περίπτωση. Πρόκειται για ένα αγαλματίδιο με τη μορφή αρχαίου κούρου. Εξαιτίας αυτής της μορφής, ήταν επιτακτική η ανάγκη να σαρωθεί ολόκληρο. Το μέγεθός του, όμως, ήταν απαγορευτικό για τη χρήση του πλαισίου του κατασκευαστής και επίσης δεν επέτρεπε την τοποθέτηση του στο μέσο του τραπεζιού και τη σάρωσή του με απλή περιστροφή της κεφαλής γύρω από αυτό, καθώς η κατακόρυφη κίνηση της κεφαλής δεν κάλυπτε όλο το ύψος του. Ως εκ τούτου, χρειάστηκε να βρεθεί μια τελείως διαφορετική μέθοδος για τη σάρωσή του, που να παρακάμπτει το πρόβλημα του μεγέθους του. Η μέθοδος αυτή στηρίχθηκε στην εκμετάλλευση των οπών που βρίσκονταν πάνω στο τραπέζι της μηχανής και οι οποίες απείχαν μεταξύ τους 25 mm. Εφαρμόστηκαν στο αγαλματίδιο στηρίγματα, τα οποία μπορούσαν με τη σειρά τους, να εφαρμοστούν στις οπές. Αυτό έδωσε τη δυνατότητα στο αγαλματίδιο να μετακινείται κατά διακριτά διαστήματα και να τοποθετείται σε θέσεις που επέτρεπαν τη σάρωση διαφορετικών τμημάτων της επιφάνειας κάθε φορά. Κατά τη σάρωση στις θέσεις αυτές προέκυψαν διαφορετικά νέφη, των οποίων η σύνθεση πραγματοποιήθηκε στην επεξεργασία των δεδομένων στο λογισμικό. Μετά τη σύνθεση των νεφών, ήταν δυνατή η δημιουργία του στερεού μοντέλου.

Όσον αφορά στα μεταλλικά αντικείμενα, πρόκειται για αρκετά ιδιαίζουσες περιπτώσεις. Το μέγεθός τους και το βάρος τους δεν επέτρεπαν την προσάρτησή τους στο πλαίσιο, ενώ η μέθοδος με το τεχνητό σύστημα αναφοράς της προηγούμενης περίπτωσης, δεν επέτρεπε την περιστροφή των αντικειμένων, η οποία ήταν απαραίτητη για τη σάρωση των κυλινδρικών επιφανειών. Για τους παραπάνω λόγους, η σάρωση επικεντρώθηκε στην επιφάνεια θραύσης, ενώ το βασικό σώμα των αντικειμένων σχεδιάστηκε στο λογισμικό με βάση τις φυσικές τους διαστάσεις, υιοθετώντας ένα μικτό τρόπο σχεδίασης, ο οποίος περιλάμβανε σάρωση και σχεδίαση για το κάθε ένα από τα δύο αντικείμενα. Παρόλα αυτά, ο συγκεκριμένος τρόπος είχε ένα μικρό αντίκτυπο στην πιστότητα του μοντέλου, καθώς τμήματα του πλέγματος αποκόπηκαν κατά τη σχεδίαση του βασικού σώματος.

Κατά την επεξεργασία των μεταλλικών αντικειμένων στο λογισμικό Rhinoceros, προέκυψε ένας τελείως διαφορετικός τύπος προβλήματος, ο οποίος αντιμετωπίστηκε με μια μικρή διαφοροποίηση στη διαδικασία επεξεργασίας. Παρατηρείται ότι στο τελικό στάδιο της επεξεργασίας τους, δεν χρησιμοποιήθηκε η εντολή MeshToSolid. Στην προσπάθεια μετατροπής του κλειστού πλέγματος σε στερεό, η συγκεκριμένη εντολή δεν λειτούργησε. Ο

λόγος ήταν ότι εξαιτίας της αποκοπής τμημάτων του πλέγματος καθώς και του κυλίνδρου που δημιουργούσε το βασικό σώμα, υπήρχε η πιθανότητα να δημιουργηθούν μικροσκοπικές οπές στα όρια αυτών, οι οποίες δεν ήταν ορατές με το μάτι για να επιδιορθωθούν από το χρήστη. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η εντολή MeshToSolid να βλέπει το πλέγμα ανοιχτό. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα χρησιμοποιήθηκε η εντολή MeshToNurb. Η συγκεκριμένη εντολή έδρασε απευθείας πάνω στις τριγωνικές επιφάνειες του πλέγματος και μετέτρεψε κάθε μια από αυτές σε απλή επιφάνεια. Το πλέγμα μετατράπηκε σε ένα σύνολο από απλές επιφάνειες, οι οποίες απάλειψαν τις οποιεσδήποτε ατέλειες. Σώζοντας το τελικό αρχείο σε IGES format, μετατράπηκε το μοντέλο σε στερεό. Παρόλα αυτά, το IGES αρχείο ήταν αρκετά μεγάλο σε μέγεθος, κάτι που το έκανε δύσχρηστο. Ήταν όμως αναγκαίο από τη στιγμή που η βασική μέθοδος δεν μπορούσε να εφαρμοστεί στα μεταλλικά αντικείμενα. Οι δυνατότητες του λογισμικού Rhinoceros δεν μπορούσαν να αντιμετωπίσουν διαφορετικά το πρόβλημα. Εν τούτοις, είναι πιθανό να προσφέρονται επιπρόσθετα υποπρογράμματα από τον κατασκευαστή του λογισμικού, τη SYCODE, τα οποία να αντιμετωπίζουν τέτοιας φύσης προβλήματα.

Τέλος, δημιουργήθηκε ένας κώδικας για μια πρώτη προσέγγιση αυτοματοποίησης της διαδικασίας. Η δημιουργία του κώδικα στηρίχθηκε στο Rhinoscript, χρησιμοποιεί όλες τις απαιτούμενες εντολές, ενώ είναι συγχρόνως πολύ φιλικός προς το χρήστη, καθώς τον καθοδηγεί με αναλυτικά μηνύματα και συμβουλές, ώστε να είναι επιτυχής η μοντελοποίηση και να είναι εφικτή ακόμα και από αυτούς τους χρήστες οι οποίοι δεν έχουν καμία πρότερη επαφή με το λογισμικό Rhinoceros. Τονίζεται ότι ο κώδικας δημιουργήθηκε για τα κεραμικά, καθώς σε αυτά μπορούσε να πραγματοποιηθεί μια τυποποίηση της διαδικασίας με βάση κάποια σταθερά βήματα, ενώ η ιδιαιτερότητα των μεταλλικών αντικειμένων στη μορφή δεν επέτρεψε κάτι αντίστοιχο για αυτά.

Βιβλιογραφία

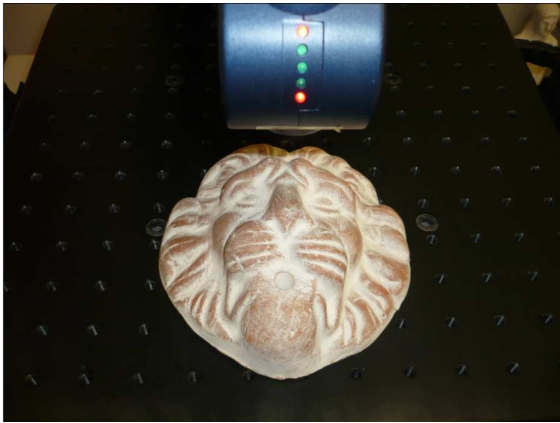
- [1] A method for automated registration of unorganized point clouds, Kwang-Ho Bae, Derek D. Lichti, *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 63, 2008, 36-54.
- [2] Automatic registration of overlapping 3D point clouds using closest points, Yonguai Liu, *Image and Video Computing*, 24, 2006, 762-781.
- [3] A concept for feature based data registration by simultaneous consideration of laser scanner data and photogrammetric images, Axel Wendt, *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 62, 2007, 122-134.
- [4] An integrated approach for modeling and global registration of point clouds, Tahir Rabbani, Sander Dijkman, Frank van den Heuvel, George Vosselman, *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 61, 2007, 355-370.
- [5] Keypoint based autonomous registration of terrestrial laser point clouds, Shahar Barnea, Sagi Filin, *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 63, (2008), 19-35.
- [6] An artificial intelligence approach to registration of free-form shapes, L.M. Galantucci, G. Percoco, R. Spina, *Image and Video Computing*, 32, 2007, 653-660.
- [7] Product design using point-cloud surface: A recursive subdivision technique for point parameterization, Philip Azariadis, Nickolas Sapidis, *Computers in Industry*, 58, 2007, 832-843.
- [8] Parameterization of clouds of unorganized points using dynamic based surfaces, Philip Azariadis, *Computer Aided Design*, 36, 2004, 607-623.
- [9] Rapid prototyping 3D objects from scanned measurement data, Andrew Willis, Jasper Speicher, David B. Cooper, *Image and Video Computing*, 25, 2007, 1174-1184.
- [10] An adaptive slicing approach to modeling cloud data for rapid prototyping, Y.F. Zhang, Y.S. Wong, H.T. Loh, Y.F. Wu, *Journal of Materials Processing Technology*, 140, 2003, 105-109.
- [11] Direct integration of reverse engineering and rapid prototyping, Kwan H. Lee, H. Woo, *Computers and Industrial Engineering*, 38, 2000, 21-38.
- [12] Model reconstruction from cloud data, L.Y. Zhang, R.R. Zhou, *Journal of Materials Processing Technology*, 138, 2003, 494-498.

- [13] Cloud data modeling employing a unified, non redundant triangular mesh, W. Sum, C. Bradley, Y.F. Zhang, H.T. Loh, *Computer Aided Design*, 33, 2001, 183-193.
- [14] Unsupervised robust planar segmentation of terrestrial laser scanner point clouds based on fuzzy clustering methods, Josep Miquel Biosca, Jose Luis Lerma, *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 63, 2008, 84-98.
- [15] A new segmentation method for point cloud data, H. Woo, E. Kang, Semyung Wang, Kwan H. Lee, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42, 2002, 167-178.
- [16] Segmentation of 3D triangulated data points using edges constructed with a C1 discontinuous surface fitting, Andre Meyer, Philippe Marin, *Computer Aided Design*, 36, 2004, 1307-1336.
- [17] A volumetric approach for STL generation from 3D scanned products, L.M. Galantucci, G. Percoco, U. Dal Maso, *Journal of Materials Processing Technology*, 113, 2008, 517-523.
- [18] A mesh reconstruction algorithm driven by an intrinsic property of a point cloud, Hong-Wei Lin, Ghiew-Lan Tai, Guo-Jin Wang, *Computer Aided Design*, 36, 2004, 1-9.
- [19] Combinatorial manifold mesh reconstruction and optimization from unorganized clouds with arbitrary topology, J. Huang, C.H. Menq, *Computer Aided Design*, 34, 2002, 149-165.
- [20] Least squares 3D surfaces and curve matching, Armin Gruen, Devrim Acka, *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 59, 2005, 151-174.
- [21] Matching of 3D surfaces and their intensities, Devrim Acka, *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 62, 2007, 112-121.
- [22] Complete 3D measurement in Reverse Engineering using a multi probe system, Xie Zexiao, Wang Jianguo, Zhang Qiumei, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 2005, 1474-1486.
- [23] Modeling and calibration of a structured-light-sensor-based five- axis scanning system, Xie Zexiao, Zhang Qiumei, Zhang Guoxiong, *Measurement*, 36, 2004, 185-194
- [24] On the normal vector estimation for point cloud data from smooth surfaces, Daoshan Ou Yang, Hsi-Yung Feng, *Computer Aided Design*, 37, 2005, 1071-1079.
- [25] Automatic least-squares projection of points onto point clouds with application in reverse engineering, Yu-Shen Liu, Jean-Claude Paul, Jun-Hai Yong, Pi-Qiang Yu, Hui Zhang, Jia-Guang Sun, Karthik Ramani, *Computer Aided Design*, 38, 2006, 1252-1263.
- [26] Detection of closed sharp edges in point clouds using normal estimation and graph theory, Kris Demarsin, Denis Vanderstraeten, Tim Volodine, Dirk Roose, *Computer Aided Design*, 39, 2007, 276-283.

- [27] Filling holes on locally smooth surfaces reconstructed from point clouds, Jianning Wang, Manuel M, Oliveira, *Image and Vision Computing*, 25, 2007, 103-113.
- [28] Reverse engineering of a symmetric object, Minh Chang, Sang C. Park, *Computers and Industrial Engineering* 112, 2008, 162-169.
- [29] Moving parabolic approximation of point clouds, Zhouwang Yang, Tae-wan Kim, *Computer Aided Design*, 39, 2007, 1092-1112.
- [30] Meshless geometric subdivision, C. Moenning, F. Nemoli, G. Sapiro, N. Dyn, N.A. Dodgon, *Graphical Models*, 69, 2007, 160-179.
- [31] Extreme points of a large 3D point set along multiple directions, C.K. Chan, S.T. Tan, *Computer Aided Design*, 37, 2008, 17-34.
- [32] Algorithms for reverse engineering boundary representation models, Pal Benko, Ralph R. Martin, Tamas Varady, *Computer Aided Design*, 33, 2001, 839-851.
- [33] Optimization methods for scattered data approximation with subdivision surfaces, Martin Marinov, Leif Kobbelt, *Graphical models*, 67, 2005, 452-473.
- [34] Development of a programme system for data point pre-processing in reverse engineering, I. Budak, J. Hodolic, M. Sokovic, *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163, 2005, 730-735.
- [35] Efficient surface reconstruction method for distributed CAD, Sergei Azernikov, Anath Fischer, *Computer Aided Design*, 36, 2004, 799-808.
- [36] Uncertainty and Variability in point cloud surface data, Mark Pauli, Niloy J. Mitra, Leonidas J. Guibas, *Computer Aided Design*, 156, 2004, 554-561.
- [37] A multilevel approach to edge detection in tessellated point clouds, L.M. Galantucci, G. Percoco, *Journal of Materials Processing Technology*, 110, 2007, 189-201.
- [38] Local topological beautification of reverse engineered models, C,H Gao, F.C. Langbein, A.D. Marshall, R.R. Martin, *Computer Aided Design*, 36, 2004, 1337-1355.
- [39] Dynamic Reverse Compensation to increase the accuracy of the rapid prototyping system, You-Min Huang, Hsiang-Yao Lan, *Journal of Materials Procassng Technology*, 167, 2005, 167-176.
- [40] Error sources in a 3D reverse engineering process, Deepak Giri, Musa Jouaneh, Brent Stucker, *Precision Engineering*, 28, 2004, 242-251.

Παράρτημα 1

Στο πρώτο παράρτημα παρουσιάζονται τα υπόλοιπα αντικείμενα που σαρώθηκαν και τα στερεά μοντέλα που προέκυψαν μετά την επεξεργασία στο Rhinoceros.



(α)



(β)

Εικόνα 1



(α)



(β)

Εικόνα 2



(α)

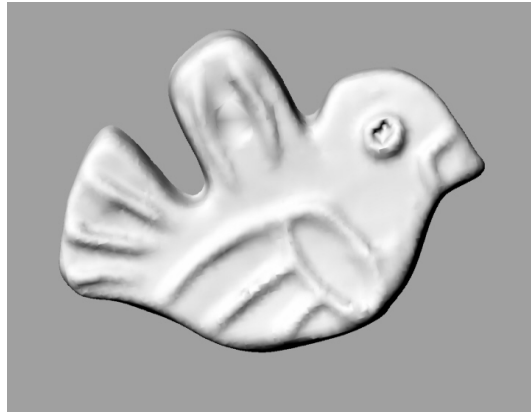


(β)

Εικόνα 3



(α)

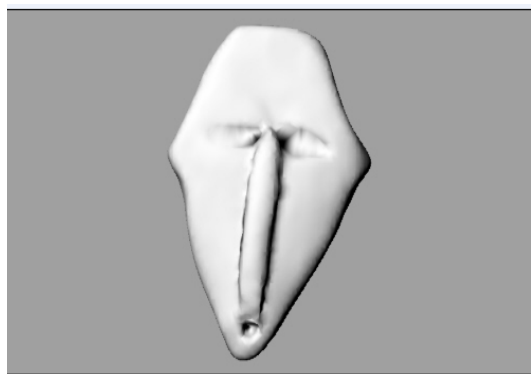


(β)

Εικόνα 4



(α)



(β)

Εικόνα 5

