



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**Αντίστροφη μηχανική αντικειμένου με τη χρήση του
NextEngine 3D scanner και του
λογισμικού Siemens NX.**

Υπό

Αθανασίου Α. Νικόλαο

Επιβλέπων

Νικόλαος Μπιλάλης, Καθηγητής

Χανιά 2021

Copyright © Αθανασίου Νικόλαος, 2021.
All rights reserved



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

Αντίστροφη μηχανική αντικειμένου με τη χρήση του NextEngine 3D Scanner και του λογισμικού Siemens NX.

Αθανασίου Α. Νικόλαος

Διπλωματική εργασία που υποβλήθηκε στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την απόκτηση του Διπλώματος.

Εγκρίνεται από:

Νικόλαος Μπιλάλης

Καθηγητής

Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Ημερομηνία Παρουσίασης: 9/11/2021

*Στους γονείς μου,
Αθανάσιο και Παντού*

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο **Νικόλαο Μπιλάλη**, καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης στο τμήμα των Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, για τις χρήσιμες συμβουλές, τις υποδείξεις του, καθώς και για την εν γένει καθοδήγηση που μου παρείχε. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο **Πάυλο Κουλουριδάκη** υπεύθυνο του εργαστηρίου Μελέτης και σχεδίασης με χρήση Η/Υ (CAD). Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Περίληψη

Στις μέρες μας, οι βιομηχανικές επιχειρήσεις έχουν ως στόχο να μειώσουν τον χρόνο και το κόστος σχεδίασης, ανάπτυξης και παραγωγής ενός προϊόντος. Την προσπάθεια αυτή βοηθά η χρήση και η εξέλιξη των συστημάτων σχεδιομελέτης με χρήση H/Y - CAD/CAM. Η αντίστροφη μηχανική (reverse engineering) ανήκει σε αυτά τα συστήματα και επιτυγχάνει τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου ενός αντικειμένου/ προϊόντος που ήδη υπάρχει, αλλά τα κατασκευαστικά του σχέδια και/ή το τρισδιάστατο μοντέλο του δεν υπάρχουν.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αντίστροφη μηχανική ενός πρισματικού αντικειμένου με τη χρήση του σαρωτή NextEngine και του λογισμικού του ScanStudio και τη μετέπειτα επεξεργασία του σε σύστημα CAD

Το αρχείο που εξάγεται από το λογισμικό του σαρωτή μεταφέρεται στο σύστημα CAD NX Siemens, για να δημιουργηθεί το μοντέλο του αντικειμένου, κάνοντας χρήση της εφαρμογής Reverse Engineering του NX. Αναλύονται τα στάδια επεξεργασίας και επισημαίνονται οι αδυναμίες του λογισμικού για την μετατροπή του μοντέλου σάρωσης σε 3D μοντέλο CAD.

Abstract

Today, the aim of most industrial enterprises is to reduce the time and the total cost for the design, development and production of their products. The use and evolution of CAD/CAM systems contribute to this purpose. The reverse engineering process is included in these systems and succeeds in creating the digital model of an existing part/product but the design documentation and/or the 3D model do not exist. This final year thesis deal with the reverse engineering process of a prismatic part through the use of the NextEngine 3D scanner and the proprietary software ScanStudio. The file extracted from the scanner software is transferred to the Siemens CAD NX system, to create the CAD part model, using the NX Reverse Engineering application. The processing steps are analyzed and the weaknesses of the software for converting the scan model to 3D CAD model are pointed out.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη.....	6
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	11
1.1 Εισαγωγή στο CAD,CAM,CAE	11
1.2 Αντίστροφη μηχανική.....	13
1.2.1 Εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής	13
1.2.2 Διαδικασία αντίστροφης μηχανικής	15
1.2.3 Απόκτηση 3D δεδομένων.....	16
1.2.4 Επεξεργασία των 3D σημείων	17
1.2.5 Γεωμετρική ανάπτυξη του μοντέλου	17
1.3 Το πρόβλημα της ανταλλαγής δεδομένων	18
1.3.1 Άμεσοι και έμμεσοι μεταφραστές	19
1.4 Μοντέλα πλέγματος – ακμών.	22
1.4.1 Δημιουργία μοντέλου πλέγματος με δεδομένα αντίστροφης μηχανικής.....	23
1.4.2 Καμπύλες ελεύθερης μορφής.....	24
1.4.3 Σχεδιασμός καμπυλών ελεύθερης μορφής	25
1.4.4 Συνέχεια μεταξύ καμπυλών ελεύθερης μορφής	26
Κεφάλαιο 2 - Εισαγωγή στο NextEngine 3D Scanner.....	28
2.1 Παρουσίαση προγράμματος.....	28
2.2 Το λογισμικό SCANSTUDIOHD.....	29
2.2.1 Εντολές του λογισμικού SCANSTUDIOHD	29
2.3 Σάρωση αντικειμένου με χρήση του NextEngine 3D Scanner.	31
2.3.1 Διαδικασία.....	32
2.3.2 Εξαγωγή αρχείου αντίστροφης μηχανικής	37
Κεφάλαιο 3 – Το λογισμικό Siemens NX 12.00	40
3.1 Παρουσίαση λογισμικού.	40
3.1.1 Εργαλεία αντίστροφης μηχανικής στο NX 12.00.	40
3.1.2 Επεξεργασία του αντικειμένου σάρωσης με την εντολή Fit Curve	48
3.2 Επεξεργασία του STL αρχείου του αντικειμένου σάρωσης	59
Κεφάλαιο 4 – Σύνοψη	63
Βιβλιογραφία	64
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	64
Διαδικτυακή Βιβλιογραφία	64

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στο CAD,CAM,CAE

Το **CAD (Computer-Aided-Design)** ή αλλιώς μελέτη και σχεδίαση με τη χρήση Η/Υ άλλαξε δραματικά την ταχύτητα και την ποιότητα που μπορεί να σχεδιαστεί, να αναλυθεί και να κατασκευαστεί ένα προϊόν.

Επομένως, οποιοδήποτε πρόγραμμα υπολογιστή, που ενσωματώνει γραφικά και ένα πρόγραμμα εφαρμογής, που διευκολύνει τις τεχνικές λειτουργίες στη διαδικασία σχεδίασης, ταξινομείται ως λογισμικό CAD.

Τα λογισμικά CAD βασίζονται κυρίως στη τεχνολογία των γραφικών, των βάσεων δεδομένων, της μαθηματικής μοντελοποίησης, της προσομοίωσης και του ελέγχου των δεδομένων. Βασικός παράγοντας στη διαδικασία της σχεδιομελέτης είναι η δημιουργία του τρισδιάστατου γεωμετρικού μοντέλου του προϊόντος που αποτελεί βάση για την ανάπτυξη των κάθετων εφαρμογών, δηλαδή εφαρμογών που στηρίζονται στο μοντέλο του προϊόντος και αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση και παραγωγή του.

Το **CAM (Computer-Aided-Manufacturing)** ή αλλιώς παραγωγή με τη βοήθεια Η/Υ είναι η τεχνολογία που αφορά τη χρήση συστημάτων υπολογιστών για τον προγραμματισμό, τη διαχείριση, και τον έλεγχο των λειτουργιών της παραγωγής μέσω άμεσης ή έμμεσης διασύνδεσης του υπολογιστή με τους πόρους παραγωγής του εργοστασίου.

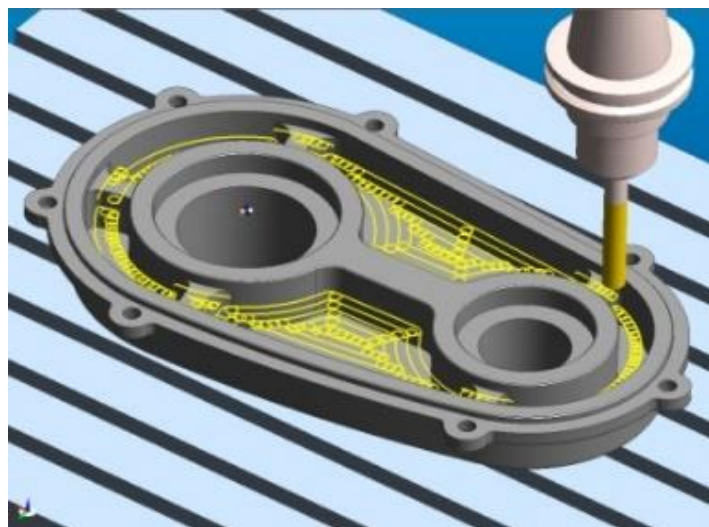
Με το CAM μπορούμε να μετατρέψουμε ένα τρισδιάστατο μοντέλο σε ένα αντικείμενο. Πιο συγκεκριμένα, με το CAM μπορούμε πολύ εύκολα και γρήγορα να δημιουργήσουμε τον κώδικα μηχανής που χρησιμοποιούν οι CNC μηχανές, στη συνέχεια να γίνει προσομοίωση στη κίνηση του κοπτικού εργαλείου της εργαλειομηχανής, και έτσι ,αν όλα λειτουργούν ορθά, να γίνει η πραγματική εκτέλεση της κατεργασίας.

Το **CAE (Computer-Aided-Engineering)** ή αλλιώς τεχνική μελέτη με τη βοήθεια υπολογιστή, δίνει τη δυνατότητα στον σχεδιαστή-μηχανικό να προσομοιώσει και να μελετήσει τη συμπεριφορά του αντικείμενου που σχεδίασε και να βελτιστοποιήσει το αντικείμενο του στον μέγιστο βαθμό.

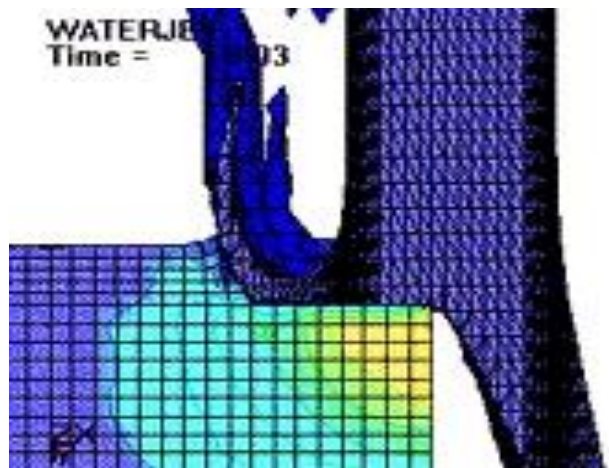
Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές του CAE είναι ο έλεγχος αντοχής, η συμπεριφορά σε ροή και η κατεργασιμότητα.



Εικόνα 1: Η τσαγέρια του Utah, ένα από τα πρώτα 3D μοντέλα αναφοράς στην κοινότητα των 3D σχεδιαστών. (Martin Newell 1975, με χρήση τεχνικών φωτορεαλισμού)



Εικόνα 2: Επιθυμητή σειρά των κατεργασιών και πορεία του κοπτικού εργαλείου για σύστημα CAM.



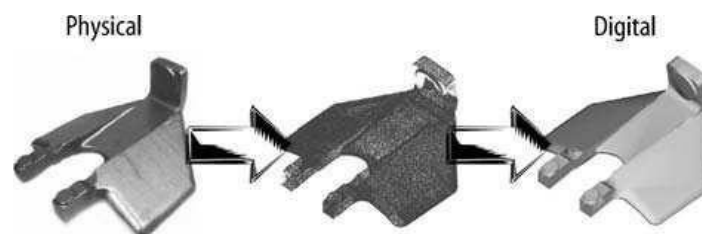
Εικόνα 3: Ανάλυση και βελτιστοποίηση υδροκοπής με χρήση συστήματος FEM. (Πολυτεχνείο Κρήτης 2011)

1.2 Αντίστροφη μηχανική

Καθημερινά ένας μηχανικός βρίσκεται αντιμέτωπος με το πρόβλημα της κατασκευής ενός αντικειμένου, το οποίο έχει μπροστά του, αλλά τα κατασκευαστικά του σχέδια έχουν χαθεί ή δεν υπάρχουν λόγω της παλαιότητας του.

Με την αντίστροφη μηχανική μπορούμε να σαρώσουμε ένα αντικείμενο με έναν σαρωτή, που ονομάζεται 3D Scanner, και τα δεδομένα της σάρωσης αυτής να τα μεταφέρουμε σε ένα σύστημα CAD δημιουργώντας πληροφορίες για το τρισδιάστατο μοντέλο.

Πολλές βιομηχανίες χρησιμοποιούν τρισδιάστατα δεδομένα για τον σχεδιασμό τους. Παλαιότερα, η συγκεκριμένη διαδικασία ήταν επίπονη και χρονοβόρα, καθώς τα ακανόνιστα σχήματα απαιτούσαν εκτεταμένη αντίστροφη μηχανική, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τρισδιάστατη εκτύπωση, σχεδιασμό καλουπιών, ανάλυση ή άλλες χρήσεις. Πλέον, με την εξέλιξη των συστημάτων CAD η συγκεκριμένη διαδικασία έχει απλοποιηθεί αρκετά, καθώς και οι χρόνοι υλοποίησης της διαδικασίας έχουν μειωθεί.



Εικόνα 4: Μετατροπή αντικειμένου σε ψηφιακή μορφή.

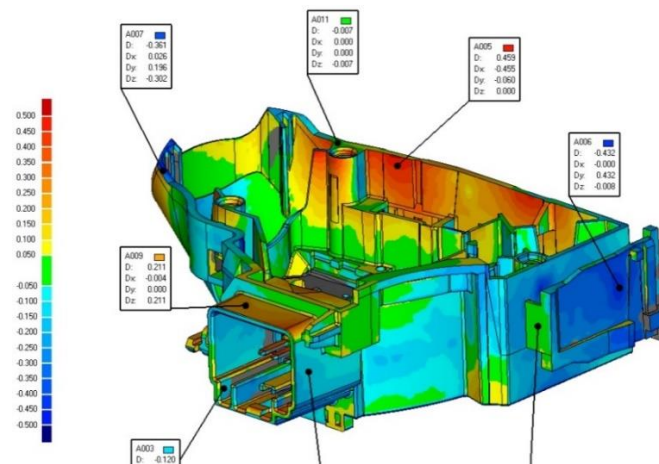
1.2.1 Εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής

Η αντίστροφη μηχανική υλοποιεί μια πληθώρα εφαρμογών στη παραγωγή, στον βιομηχανικό σχεδιασμό, στην ιατρική, ακόμα και για αποτύπωση εκθεμάτων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Πιο συγκεκριμένα, εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής έχουμε :

- Όταν ο αρχικός παραγωγός δεν είναι διαθέσιμος, αλλά ο πελάτης χρειάζεται το προϊόν (π.χ ανταλλακτικά για αυτοκίνητα, πλοία, αεροσκάφη μεγάλης ηλικίας, των οποίων η κατασκευάστρια εταιρεία έχει αποσυρθεί από την αγορά.)

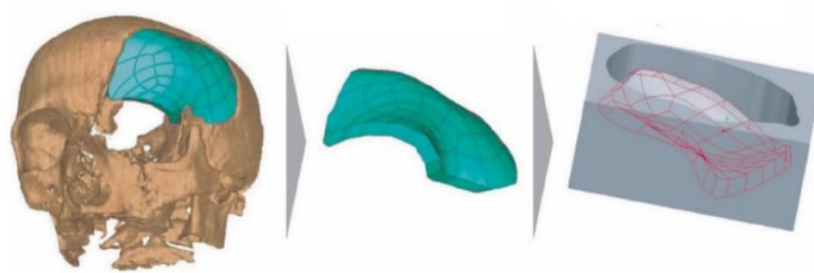
- Όταν το γνήσιο σχέδιο δεν υπάρχει ή έχει χαθεί.
- Στην επιθεώρηση ή στον ποιοτικό έλεγχο, όταν θέλουμε να συγκρίνουμε ένα τεμάχιο που έχει κατασκευαστεί με τις πραγματικές του διαστάσεις, όπως λαμβάνονται από ένα σύστημα.
- Στην ανάλυση προϊόντος ανταγωνιστή. Όταν μια ανταγωνίστρια εταιρεία βγάλει στην αγορά ένα νέο προϊόν, μπορούμε να το αγοράσουμε και να αναλύσουμε τα «καλά» και «κακά» χαρακτηριστικά του.
- Στην δημιουργία ψηφιακού μοντέλου από αγάλματα και ανθρώπους, αλλά και στην δημιουργία, μεγέθυνση και κίνηση σε παιχνίδια και ταινίες ή για αναπαραγωγή του μοντέλου.
- Στην ιατρική. Όταν χρειάζεται να γίνει μία επέμβαση για τη τοποθέτηση μοσχεύματος στο κρανίο του ασθενή μπορούμε να πάρουμε τρισδιάστατα δεδομένα από έναν αξονικό ή μαγνητικό τομογράφο και στη συνέχεια με χρήση συστήματος CAD να κατασκευαστεί το ακριβές μόσχευμα του ασθενή.
- Στην βιομηχανία της ένδυσης, καθώς μπορούμε να έχουμε τη μορφή του ανθρώπινου σώματος, και πάνω σε αυτή να κατασκευάσουμε το ανάλογο ένδυμα.



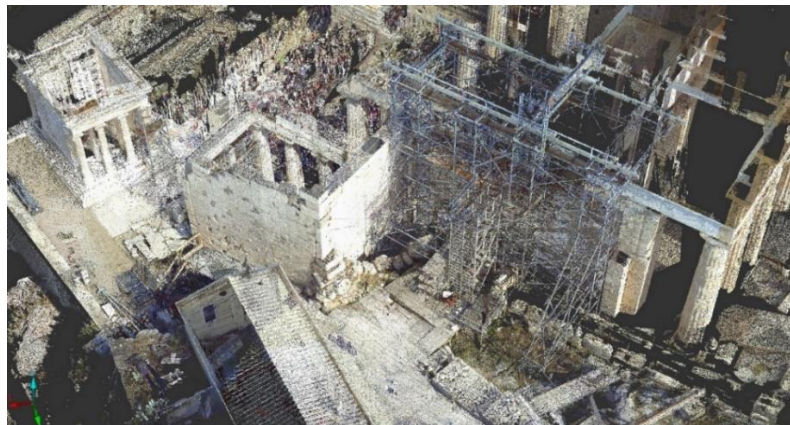
Εικόνα 5: Ποιοτικός έλεγχος εξαρτήματος: Σύγκριση δεδομένων σάρωσης του κατασκευασμένου εξαρτήματος σε σχέση με τα δεδομένα του αρχικού μοντέλου CAD (Otto Vision Technology GmbH).



Εικόνα 6: Προσαρμογή ρούχων, υποδημάτων σε ανθρωποειδή μετά από 3Δ σάρωση (Bodymetrics Scanner).



Εικόνα 7: Σχεδίαση κρανιακού εμφυτεύματος (ΤΕΙ Κρήτης)

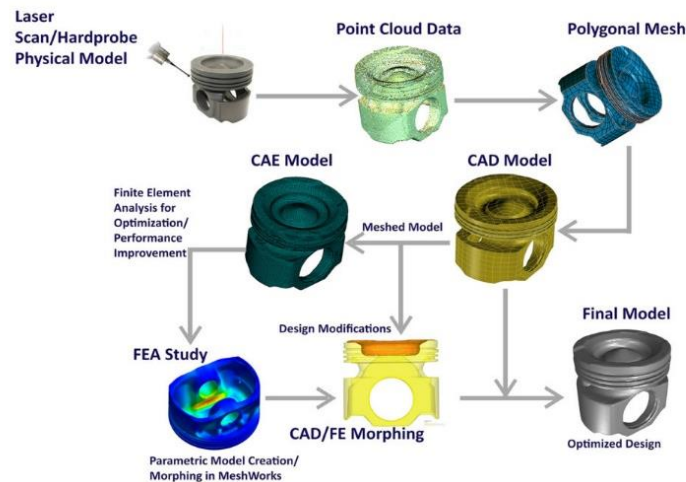


Εικόνα 8: Τρισδιάστατη σάρωση νότιας πλευράς Προπυλαίων Ακρόπολης Αθηνών (Αστρολάβος Τεχνική ΟΕ)

1.2.2 Διαδικασία αντίστροφης μηχανικής

Η διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής περιλαμβάνει 3 στάδια

- Την απόκτηση 3D δεδομένων με τη διαδικασία της σάρωσης.
- Την επεξεργασία των 3D δεδομένων.
- Την γεωμετρική ανάπτυξη του μοντέλου.



Εικόνα 9: Διαδικασία αντίστροφης μηχανικής. Πηγή (DEP Reverse Engineering Services).

Πριν ξεκινήσουμε τη διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής, πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας μερικές παραμέτρους που την επηρεάζουν. Συγκεκριμένα :

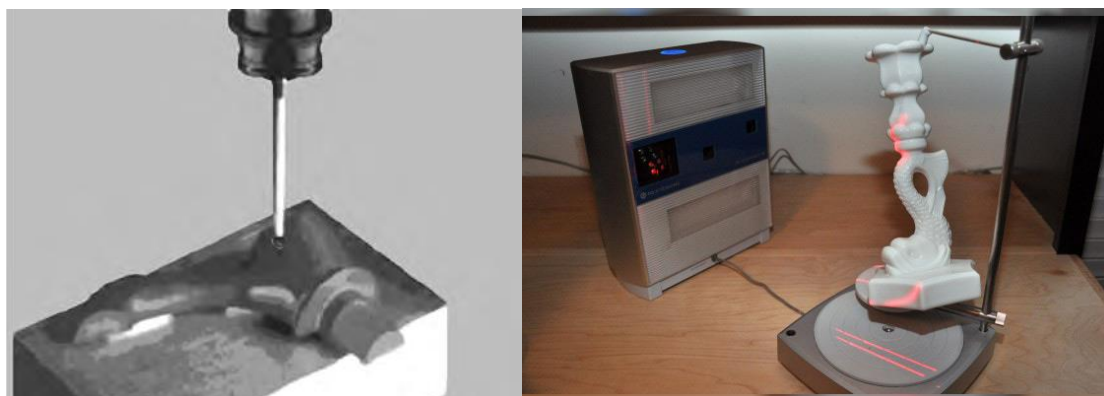
- Ο αριθμός αντικειμένων που θα σαρωθούν (ένα ή περισσότερα του ενός).
- Το μέγεθος του αντικειμένου (μεγάλο ή μικρό).
- Η πολυπλοκότητα του αντικειμένου .
- Το υλικό του αντικειμένου (μαλακό ή σκληρό).
- Η εξωτερική επιφάνεια του αντικειμένου (γυαλιστερό ή θαμπό).
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου (εσωτερικό ή εξωτερικό μέρος).
- Η ακρίβεια που απαιτείται (γραμμική ή ογκομετρική).

1.2.3 Απόκτηση 3D δεδομένων

Για την απόκτηση των 3D δεδομένων, χρησιμοποιούμε τη μέθοδο της σάρωσης (scanning). Στο εμπόριο υπάρχει μεγάλη ποικιλία σαρωτών και τεχνικών που χρησιμοποιούνται. Η σάρωση του αντικειμένου λειτουργεί όπως μια κοινή φωτογραφική μηχανή, δηλαδή αποτυπώνει τις ορατές επιφάνειες του αντικειμένου και τις εμφανίζει ως ένα σύνολο σημείων με τις συντεταγμένες τους, οι οποίες ονομάζονται νέφος σημείων. Ποτέ μία σάρωση δεν είναι ικανή να αποτυπώσει όλες τις επιφάνειες του αντικειμένου. Για αυτόν τον λόγο, πραγματοποιείται μια σειρά από επαναλαμβανόμενες σαρώσεις, οι οποίες αποτυπώνουν όλες τις εσοχές, οπές, αυλάκια

και σκαλοπάτια που μπορεί να περιλαμβάνει το ως προς σάρωση αντικείμενο. Οι δύο βασικότερες τεχνικές είναι η σάρωση με επαφή και χωρίς επαφή.

Στη παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της σάρωσης χωρίς επαφή με τον NextEngine 3D Scanner.



Εικόνα 10: Σάρωση αντικειμένου με επαφή, και σάρωση αντικειμένου χωρίς επαφή με τον NextEngine 3D Scanner.

1.2.4 Επεξεργασία των 3D σημείων

Κατά την επεξεργασία των 3D σημείων επεξεργαζόμαστε τις επί μέρος σαρώσεις σε ειδικό λογισμικό που συνοδεύει τον κάθε σαρωτή. Αρχικά γίνεται η επεξεργασία του νέφους των σημείων που περιλαμβάνει την ένωση πολλαπλών σαρώσεων, για να βελτιστοποιήσουμε την ψηφιακή αποτύπωση του αντικειμένου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι οι σαρώσεις που διαθέτουμε να αλληλοσυμπληρώνονται, ώστε στο τέλος να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο νέφος. Μπορούμε και να απαλείψουμε ορισμένα σημεία, τα οποία δεν ανήκουν στο νέφος που χρειαζόμαστε, μειώνοντας έτσι το νέφος των σημείων, αλλά και να χρησιμοποιήσουμε μερικά φίλτρα για την απαλοιφή του θορύβου. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας είναι να δημιουργηθεί ένα καθαρό και με συνοχή νέφος σημείων, που έχει την επιθυμητή δομή και δημιουργεί τα θεμέλια της διαμόρφωσης του πολυγωνικού μοντέλου.

1.2.5 Γεωμετρική ανάπτυξη του μοντέλου

Η δημιουργία της γεωμετρικής ανάπτυξης του μοντέλου αποτελεί ίσως την πιο επίπονη διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής. Είναι το στάδιο που εξάγουμε το αντικείμενο μας σε μια μορφή που μας εξυπηρετεί, ανάλογα το στόχο που θέλουμε να πετύχουμε. Το αρχείο που εξάγουμε μπορεί να είναι της μορφής IGES, VDA, STL, DXF, OBJ,

VRML, G-CODE, αλλά μπορεί να γίνει και απευθείας σύνδεση σε σύστημα CAD-CAM. Η μεταφορά των δεδομένων δεν μπορεί να γίνει με τη χρήση του πολυγωνικού μοντέλου. Έτσι, είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί το μοντέλο των επιφανειών. Η δημιουργία του μοντέλου επιφανειών είναι αρκετά δύσκολη, χρειάζεται προσοχή και να έχουμε πάντα υπόψη μας την εφαρμογή του μοντέλου. Τα τελικά μοντέλα που μπορούν να δημιουργηθούν ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες : το απλό ψηφιακό μοντέλο και το πλήρες μοντέλο αντίστροφης μηχανικής. Στο απλό ψηφιακό μοντέλο (digital modeling ή As-built model) απλώς επιθυμούμε την τελική μορφή του αντικείμενου ως αποτέλεσμα, ειδικά αν το αποτέλεσμα αυτό είναι η παραγωγή του πρωτοτύπου με μηχανή ταχείας πρωτοτυποποίησης. Το πλήρες μοντέλο αντίστροφης μηχανικής (reverse engineering CAD model) είναι απαραίτητο, εάν χρειάζεται να κάνουμε μετρήσεις στο αντικείμενο ή δοκιμές σε υπολογιστικό επίπεδο. Για παράδειγμα, στο μοντέλο ενός στροφείου για ανάλυση ροής ή στον επανασχεδιασμό ενός μοντέλου από κάλυμμα κινητήρα. Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ του απλού ψηφιακού μοντέλου και του πλήρους μοντέλου αντίστροφης μηχανικής είναι το επιθυμητό αρχείο εξόδου. Για το απλό ψηφιακό μοντέλο, το μοντέλο πλέγματος είναι επαρκές. Όταν, όμως, απαιτείται κάτι περισσότερο από αυτό όπως στα παραδείγματα του στροφείου, και του καλύμματος κινητήρα, το τελικό μοντέλο πρέπει να επικοινωνεί με σύστημα παραμετρικής μοντελοποίησης. Η λειτουργία αυτή δεν είναι αυτοματοποιημένη. Η αυτόματη δημιουργία επιφανειών NURBS δίνει ένα <<μη ευφυές μοντέλο>> που δεν είναι πρακτικά διαχειρίσιμο. Η διαδικασία της δημιουργίας του πλήρους μοντέλου αντίστροφης μηχανικής είναι υποβοηθούμενη από το χρήστη, ο οποίος θα πρέπει να διαιρέσει το μοντέλο σε περιοχές, να αναγνωρίσει από τις περιοχές αυτές τις κατάλληλες επιφάνειες που θα προσαρμόσει, ώστε να παράγει το μοντέλο επιφανειών. Τέλος, το μοντέλο αυτό θα πρέπει να εξεταστεί λεπτομερώς, για να διορθωθούν πιθανές ατέλειες στο πλέγμα των επιφανειών.

1.3 Το πρόβλημα της ανταλλαγής δεδομένων

Στη σύγχρονη βιομηχανική κοινωνία, παρουσιάζεται έντονα το φαινόμενο της συνεργασίας μεταξύ εταιρειών. Έτσι, διάφορα αρχεία και σχέδια μεταφέρονται από τα γραφεία και τους υπολογιστές της μιας εταιρείας στην άλλη. Το πρόβλημα όμως είναι ότι η κάθε εταιρεία χρησιμοποιεί το δικό της σύστημα CAD-CAM και η μεταφορά

των σχεδίων είναι αδύνατη. Έτσι, δημιουργήθηκαν διάφοροι μεταφραστές δεδομένων και το κάθε σύστημα μπορεί να ανοίξει και να επεξεργαστεί αρχείο άλλου συστήματος. Τα δεδομένα που δημιουργούν τα συστήματα CAD-CAM είναι διαφόρων μορφών, όπως:

- Γεωμετρικά δεδομένα και δεδομένα τοπολογίας για τη μορφή και δομή του μοντέλου, που συχνά αναφέρονται και ως δεδομένα σχεδίασης (design data) και περιέχουν τρισδιάστατα μοντέλα και δισδιάστατα σχέδια.
- Πρόσθετα δεδομένα στη μορφή, όπως είναι οι εικόνες από εφαρμογές φωτορεαλισμού.
- Το σχήμα της βάσης των δεδομένων, που αφορά τον τρόπο καταχώρησης των γεωμετρικών στοιχείων, ιδιαίτερα για καμπύλες και επιφάνειες.
- Αποτελέσματα ανάλυσης, όπως είναι τα δεδομένα και τα αποτελέσματα από τα συστήματα ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία (CAE) και
- Δεδομένα προϊόντος και παραγωγής (product and manufacturing information), που αναφέρονται και ως model based initiatives και περιλαμβάνουν τα μη γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μοντέλου, όπως γεωμετρικές διαστάσεις και ανοχές, σχόλια και σημειώσεις, ποιότητα τελικής επιφάνειας και προδιαγραφές υλικού.

Με την ανταλλαγή δεδομένων πρέπει να διατηρείται η ακριβής γεωμετρική αναπαράσταση του κάθε εξαρτήματος του προϊόντος, τόσο στη μεταβίβαση προς τρίτο χρήστη, όσο και στην ανάδραση από τον τρίτο χρήστη.

1.3.1 Άμεσοι και έμμεσοι μεταφραστές

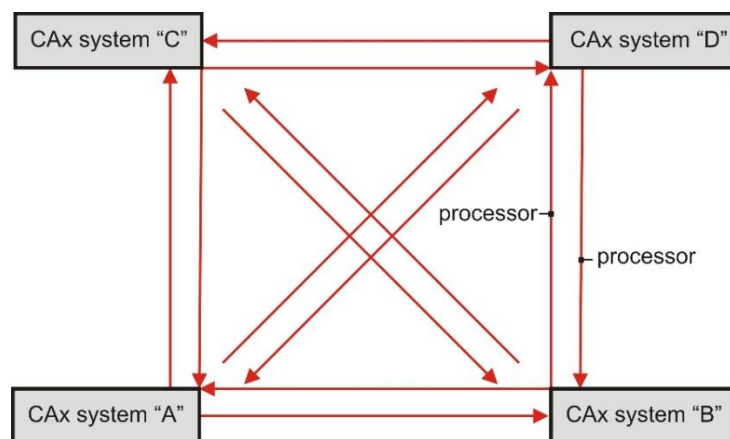
Οι άμεσοι μεταφραστές (direct translators) ήταν η πρώτη μέθοδος μεταφοράς δεδομένων, η οποία ακόμα και σήμερα παραμένει η πιο αποδοτική. Μεταφράζει τα δεδομένα ενός συστήματος σε σχήμα που μπορεί να εισαχθεί σε άλλο σύστημα και αντίστροφα. Πιο συγκεκριμένα, για δύο συστήματα CAD υπάρχει ένας μεταφραστής που εξυπηρετεί και τα δύο. Η μέθοδος μεταφέρει με ακρίβεια όλα τα δεδομένα του αντικειμένου. Η δημιουργία των μεταφραστών γίνεται από συγκεκριμένες εταιρείες που κατασκευάζουν μεταφραστές. Η άμεση μέθοδος παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, αλλά και μειονεκτήματα.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- Εφαρμόζονται σε περιπτώσεις που οι άλλες μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν.
- Είναι γρήγοροι αλγόριθμοι
- Ο κώδικας που χρειάζεται για ένα ζευγάρι συστημάτων είναι λιγότερος από ουδέτερους μεταφραστές.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- Ο αριθμός των μεταφραστών αυξάνει σχεδόν με το τετράγωνο του αριθμού των συστημάτων που υπάρχουν.
- Η ανάπτυξη του άμεσου μεταφραστή απαιτεί πρόσβαση στη μέθοδο αναπαράστασης των δεδομένων και στα δύο συστήματα, μια πληροφορία που συνήθως δεν είναι διαθέσιμη.
- Δεν είναι εύκολο σε περίπτωση προβλήματος να βρεθεί από ποιο σύστημα προκύπτει αυτό.
- Υφίσταται ανάγκη να κατανοείται ο μηχανισμός της μεταφοράς δεδομένων.
- Η δημιουργία τους απαιτεί γνώση και των δύο βάσεων δεδομένων και η ενημέρωση των μεταφραστών απαιτεί αναβάθμιση του λογισμικού από κάθε σύστημα.



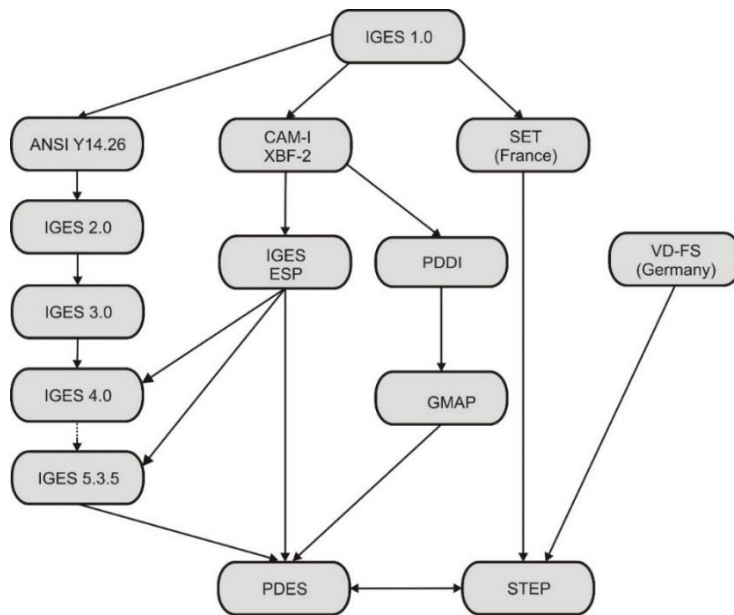
Εικόνα 11: Ανταλλαγή δεδομένων με άμεσους μεταφραστές.

Οι έμμεσοι μεταφραστές χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Στη πρώτη κατηγορία, ο προμηθευτής ενός συστήματος δημιουργεί μια ουδέτερη μορφή ενός αρχείου (neutral file), την οποία δημοσιοποιεί, και κάθε άλλος προμηθευτής μπορεί να δημιουργήσει

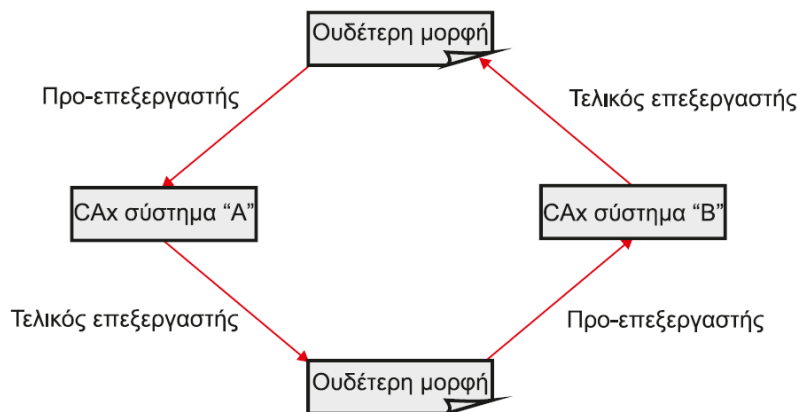
μεταφραστή που να διαβάζει αυτή τη δομή αρχείου. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία τέτοιων μεταφραστών (π.χ. Intergraph-3D PDF, IMB-IIF, Autodesk-DXF, DASSAULT-3DXML, Siemens-JT, ADOBE-3D PDF). Οι μεταφραστές αυτοί χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο για εμπορικό σκοπό και το μεγαλύτερο προτέρημά τους είναι ότι προσεγγίζουν την βάση δεδομένων του προμηθευτή. Στη δεύτερη κατηγορία των έμμεσων μεταφραστών δημιουργείται ένα πρότυπο ουδέτερο αρχείο και κάθε προμηθευτής συστήματος CAD πρέπει να παρέχει δύο μεταφραστές: έναν pre-processor (που μεταφράζει τη βάση προς το ουδέτερο αρχείο) και έναν post-processor (που μεταφράζει το ουδέτερο αρχείο στη δομή του συστήματος). Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει αρκετά προτερήματα αλλά και ένα μεγάλο μειονέκτημα. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δύσκολα θα μπορεί να αναπτυχθεί ένας διαχρονικός κανονισμός (standard) και οι εταιρείες προμήθειας συστημάτων δεν θέλουν τους μεταφραστές αυτούς. Τα μεγάλα προτερήματα της μεθόδου είναι:

- Ο αριθμός των μεταφραστών είναι ανάλογος με τον αριθμό συστημάτων.
- Ο προμηθευτής είναι υπεύθυνος για τη ποιότητα της μετάφρασης.
- Η ποιότητα της μετάφρασης και επικοινωνίας μπορεί να αποτελέσει κριτήριο επιλογής και δοκιμής ενός συστήματος και η δοκιμή του μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο τρίτου φορέα.

Ο πρώτος μεταφραστής ήταν το IGES-Initial Graphics Exchange Specifications. Ο μεταφραστής αυτός ξεκίνησε το 1979 από μια συνεργασία προμηθευτών συστημάτων CAD, όπως Boeing, General Electric, Xerox, Computervision και Applicon, με την υποστήριξη του National Bureau of Standards και του υπουργείου άμυνας των Η.Π.Α. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν και άλλοι έμμεσοι μεταφραστές, όπως νέες εκδόσεις του IGES, PDDI- Product Definition Data που κατασκεύασε η Αμερικανική πολεμική αεροπορία και το SET που αναπτύχθηκε στη Γαλλία. Σήμερα το STEP-Standard for the Exchanging of Product Definition αποτελεί την πιο πλήρη μορφή μεταφραστή για μεταφορά δεδομένων.



Εικόνα 12: Η εξέλιξη των ουδέτερων αρχείων για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συστημάτων CAD.

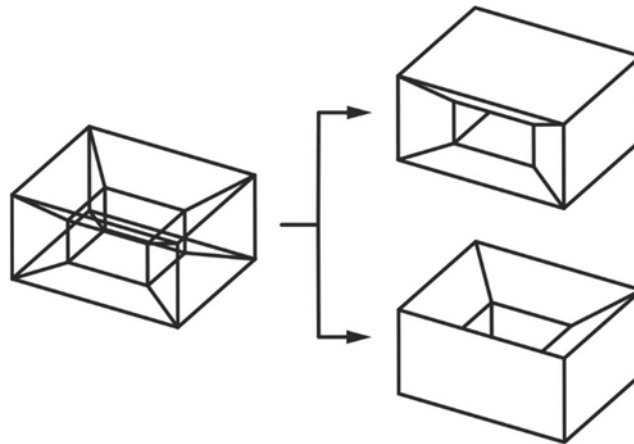


Εικόνα 13: Μεταφορά δεδομένων με ουδέτερο μεταφραστή.

1.4 Μοντέλα πλέγματος – ακμών.

Τα μοντέλα πλέγματος ή μοντέλα ακμών (wireframe models) αναπαριστούν ένα αντικείμενο σχεδιάζοντας τις γραμμές στις ακμές του αντικειμένου. Οι ακμές είναι ευθύγραμμα τμήματα, κύκλοι, τόξα ή κωνικές τομές και σύνθετες καμπύλες ελεύθερης μορφής (καμπύλες splines). Είναι μια επέκταση της 2Δ σχεδίασης, συμπεριλαμβάνοντας και τρίτη συντεταγμένη σε κάθε κορυφή και συνεπώς τα γεωμετρικά στοιχεία του αντικειμένου (έναντι της 2Δ σχεδίασης), καθώς και μεθόδους προβολής στο χώρο. Τα μοντέλα ακμών ή πλέγματος είναι η πιο απλή παρουσίαση ενός

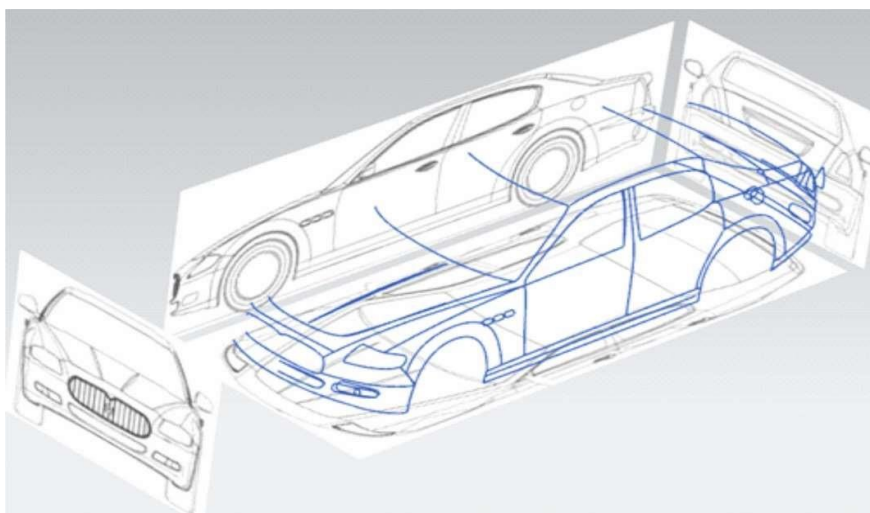
3Δ αντικειμένου. Μεγάλο προτέρημα της μεθόδου αυτής είναι η ευκολία που παρουσιάζει στη χρήση και οι λίγες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί. Το μειονέκτημα που παρουσιάζουν τα μοντέλα αυτά είναι η ασαφής αναπαράσταση των αντικειμένων και η δυσκολία στην εξαγωγή της ακριβούς αναπαράστασης τους, εικόνα14.



Εικόνα 14: Η αναπαράσταση ακμών αριστερά είναι κοινή και για τα δύο δεξιά αντικείμενα.

1.4.1 Δημιουργία μοντέλου πλέγματος με δεδομένα αντίστροφης μηχανικής.

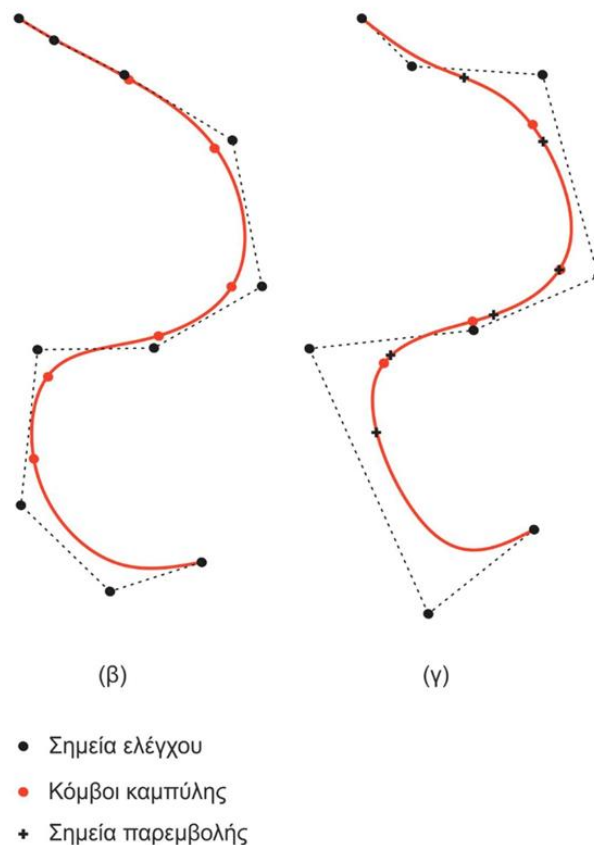
Στην αντίστροφη μηχανική η υπάρχουσα γεωμετρία του αντικειμένου μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σκοπό να ορισθεί η γεωμετρία του αντικειμένου που μελετάμε, δημιουργώντας χειρόγραφα σκίτσα από συστήματα γραφικής υποστήριξης, τα οποία εισάγονται ως οδηγός στο σύστημα CAD (προσέγγιση blueprint). Στη προσέγγιση αυτή χρησιμοποιούνται παραμετρικές καμπύλες ελεύθερης μορφής που ορίζονται από σημεία ελέγχου της καμπύλης. Για την αναπαράσταση ενός αντικειμένου ως μοντέλου ακμών-πλέγματος είναι απαραίτητο να συνδεθούν οι παραμετρικές αυτές καμπύλες με την απαιτούμενη μεταξύ τους συνέχεια.



Εικόνα 15: Ορισμός μοντέλου πλέγματος με τις οριακές καμπύλες.

1.4.2 Καμπύλες ελεύθερης μορφής.

Για να σχεδιάσουμε γεωμετρίες ελεύθερης μορφής χρησιμοποιούμε τις καμπύλες splines. Πλεονέκτημα των καμπυλών αυτών είναι ότι οι καμπύλες ελεύθερης μορφής είναι πολύ εύκαμπτες και μπορούν να ορίσουν μεγάλη ποικιλία σχημάτων. Σε ένα λογισμικό σχεδίασης (CAD) οι καμπύλες αυτές μπορεί να είναι τύπου Bezier (B-Spline ενός τμήματος), B-Spline ή NURBS (Ανομοιόμορφες ρητές Bezier και B-Spline). Οι splines ορίζονται, είτε άμεσα από τα σημεία ελέγχου που ορίζουν την καμπύλη μαθηματικά, είτε έμμεσα από σημεία που παρεμβάλλουν και υπολογίζονται τα σημεία ελέγχου που την ορίζουν. Στη περίπτωση της καμπύλης που δημιουργείται από τα σημεία ελέγχου, η καμπύλη προσεγγίζει τα σημεία ελέγχου και δεν διέρχεται από τα περισσότερα από αυτά, ενώ στη δεύτερη περίπτωση της παρεμβολής των σημείων, η καμπύλη διέρχεται από όλα τα σημεία ελέγχου. Και στις δύο περιπτώσεις, για να πετύχουμε την ακριβή καμπύλη ελεύθερης μορφής που θέλουμε, πρέπει να κάνουμε τροποποιήσεις, όπως μετακίνηση των σημείων ελέγχου, διαγραφή ή προσθήκη μερικών σημείων ελέγχου. Σε κάθε περίπτωση, ο χρήστης πρέπει να είναι εξοικειωμένος με τα χαρακτηριστικά των καμπυλών ελεύθερης μορφής, όπως τα σημεία ελέγχου, τον βαθμό της καμπύλης, το βάρος του σημείου ελέγχου και τους διάφορους τύπους του διανύσματος κόμβων που ορίζουν τις ανοικτές και τις κλειστές καμπύλες spline.



Εικόνα 16: (β) Τα σημεία παρεμβολής είναι και οι κόμβοι της καμπύλης. Η καμπύλη αποτελείται από 7 τμήματα και ορίζεται από 10 σημεία ελέγχου, (γ) Οι κόμβοι της καμπύλης δεν συμπίπτουν με τα σημεία παρεμβολής, η καμπύλη ορίζεται από 8 σημεία ελέγχου και αποτελείται από 5 τμήματα.

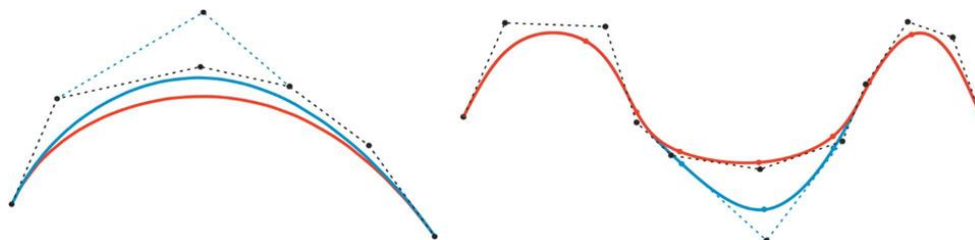
1.4.3 Σχεδιασμός καμπυλών ελεύθερης μορφής

Για να σχεδιαστεί μια σωστά ορισμένη καμπύλη splines, θα πρέπει ο χρήστης να είναι αρκετά έμπειρος, ώστε να μπορεί να κατανοεί τη μορφή της καμπύλης σε σχέση με τα σημεία ελέγχου, το βαθμό της καμπύλης και τον αριθμό των τμημάτων που την αποτελούν. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξετάζεται η ποιότητα της τελικής καμπύλης ελεύθερης μορφής, και η συνέχεια στα εσωτερικά σημεία της καμπύλης, στα σημεία κόμβους της καμπύλης και η συνέχεια ανάμεσα της καμπύλης και των τμημάτων που συνορεύει. Μια πρώτη προσέγγιση της καμπύλης ελεύθερης μορφής πρέπει να γίνεται με έναν ελάχιστο αριθμό σημείων ελέγχου, εικόνα 17(α), όσα είναι τα κυρτά και κοίλα σημεία της καμπύλης. Πολλές φορές η μεγάλη αύξηση των σημείων ελέγχου της καμπύλης μπορεί να έχει αρνητικά αποτελέσματα, όπως μη επιθυμητές στρέψεις της καμπύλης.



Εικόνα 17: Προσεγγίζοντας ένα σχήμα με Splines. (α) Πρώτη προσέγγιση (Bézier 7ου βαθμού), (β) B-Spline (2ου βαθμού),

Όταν ορίζεται καμπύλη ελεύθερης μορφής με αριθμό τμημάτων ίσο με 1, τότε ορίζουμε μια καμπύλη Bezier, ενώ όταν ορίζουμε καμπύλη με αριθμό τμημάτων μεγαλύτερο του 1 έχουμε μια καμπύλη Spline. Στη καμπύλη Bezier όλα τα σημεία ελέγχου επηρεάζουν τη μορφή της καμπύλης, αντίθετα στη καμπύλη Splines η αλλαγή ενός σημείου ελέγχου επηρεάζει ένα τμήμα της καμπύλης.



Εικόνα 18: Επίδραση των σημείων ελέγχου στη μορφή της καμπύλης. (α) Η καμπύλη είναι ένα μόνο τμήμα και όλα τα σημεία ελέγχου επηρεάζουν την καμπύλη. Η μετατόπιση του 3ου ΣΕ αλλάζει τη μορφή όλης της καμπύλης, (β) Η καμπύλη είναι B-Spline τρίτου βαθμού ($p=3$) που ορίζεται από 11 σημεία ελέγχου ($n=11$) και αποτελείται από 8 τμήματα ($s=8$). Η μετακίνηση του 6ου Σημείου Ελέγχου (P_5) επηρεάζει τα τμήματα που ορίζονται ανάμεσα στους κόμβους από K_2 , .. K_6 .

1.4.4 Συνέχεια μεταξύ καμπυλών ελεύθερης μορφής

Κατά τον σχεδιασμό ενός αντικειμένου χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι γραμμών, όπως κύκλοι, ευθύγραμμα τμήματα, τόξα, καμπύλες ελεύθερης μορφής. Όταν σε ένα αντικείμενο θέλουμε να ενώσουμε τα γεωμετρικά αυτά σχήματα είναι πολύ σημαντικό να ενώνονται με συνέχεια, δηλαδή να μην υπάρχουν κενά μεταξύ τους και η ένωση να γίνεται ομαλά. Στα συστήματα CAD κατά την ένωση διαφόρων

τμημάτων το σύστημα δίνει την επιλογή της συνέχειας G_0 , G_1 , G_2 που θα αναλυθούν παρακάτω, με σκοπό την αποφυγή ανεπιθύμητων αποσυνδέσεων, όπως κενά και επικαλύψεις.

• **G_0** (ή C_0): Οι καμπύλες απλά ενώνονται στο σημείο σύνδεσης. Η συνέχεια επιτυγχάνεται όταν υπάρχει ένα κοινό τελικό σημείο μεταξύ δύο τμημάτων καμπυλών, μέσα στις ανεκτές ανοχές. Καλείται επίσης ως συνέχεια θέσης.

• **G_1** : Οι καμπύλες μοιράζονται επίσης μια κοινή εφαπτομένη στο σημείο σύνδεσης. Αντιστοιχεί στην συνέχεια εφαπτομένης, η οποία είναι το πρότυπο στις περισσότερες κοινές λειτουργίες μοντελοποίησης. Δύο καμπύλες έχουν το ίδιο εφαπτόμενο διάνυσμα στο κοινό τους τελικό/ αρχικό σημείο. Στις καμπύλες *splines* αυτό επιτυγχάνεται ευθυγραμμίζοντας τα αντίστοιχα σημεία ελέγχου και στις δύο καμπύλες. Η συνέχεια G_1 εξασφαλίζει τη φυσική ομαλότητα του εξαρτήματος. Καλείται επίσης ως εφαπτόμενη συνέχεια.

• **G_2** : Οι καμπύλες έχουν, επίσης, κοινό διάνυσμα καμπυλότητας, κοινή κατεύθυνση και μέτρο προς το κέντρο καμπυλότητας στο σημείο σύνδεσης / άκρη. Η συνέχεια G_2 εξασφαλίζει την οπτική ομαλότητα της καμπύλης.

Κεφάλαιο 2 - Εισαγωγή στο NextEngine 3D Scanner.

2.1 Παρουσίαση προγράμματος



Εικόνα 19: Ο σαρωτής NextEngine 3D Scanner.

Ο NextEngine 3D Scanner είναι ένας ευρέως γνωστός σαρωτής που χρησιμοποιείται σε πάνω από 80 χώρες του κόσμου, για σαρώσεις αντικειμένων με σκοπό την τρισδιάστατη απεικόνιση αυτών.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου σαρωτή είναι το μικρό του μέγεθος και βάρος, κάτι που το καθιστά ευέλικτο στις μετακινήσεις, καθώς και η εύκολη συνδεσμολογία και χρήση του.

Ο σαρωτής είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο και διαθέτει δύο σειρές από τέσσερα solid state lasers, δύο κάμερες ανάλυσης 3.0 megapixel και δύο φλας για τη λήψη φωτογραφιών. Ο σαρωτής συνοδεύεται από έναν περιστροφικό μηχανισμό στον οποίο τοποθετείται το αντικείμενο προς σάρωση και ελέγχεται από το λογισμικό του σαρωτή (SCANSTUDIOHD) μέσω μιας θύρας USB.

Μερικά βασικά χαρακτηριστικά του σαρωτή είναι :

- Σάρωση με laser 1600dpi
- Εύρος σάρωσης 13.5*10.1in

- Ακρίβεια διαστάσεων ± 0.005 σε λειτουργία macro και ± 0.015 σε λειτουργία wide.

Για να πραγματοποιηθεί η σάρωση, τα αντικείμενα τοποθετούνται πάνω στο ειδικό περιστρεφόμενο βάθρο που δίνεται μαζί με τον σαρωτή. Το βάθρο αυτό μπορεί να στηρίξει αντικείμενα μέγιστου βάρους 9.09 kg, μέγιστης διαμέτρου 20.3 cm και ύψους μέχρι 27.9 cm. Για να πραγματοποιηθεί σάρωση αντικειμένου με διαστάσεις μεγαλύτερες από αυτές που αναφέραμε, κάνουμε εν μέρη σάρωση και στη συνέχεια συναρμολογούμε τις σαρώσεις στο ειδικό λογισμικό που δίνεται και αυτό μαζί με τον σαρωτή.

2.2 Το λογισμικό SCANSTUDIOHD.

Το λογισμικό που διατίθεται μαζί με τον σαρωτή ονομάζεται SCANSTUDIOHD και δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να:

- Καθορίσει τις παραμέτρους της σάρωσης
- Εστιάσει στο αντικείμενο προς σάρωση
- Ευθυγραμμίσει τις διάφορες σαρώσεις
- Να καθαρίσει το αντικείμενο από αντικείμενα που δεν χρειάζονται.
- Να δημιουργήσει καμπύλες και επιφάνειες αντικειμένων.
- Να εξάγει αρχεία διαφόρων μορφών.

2.2.1 Εντολές του λογισμικού SCANSTUDIOHD

Το λογισμικό που παρέχει ο NextEngine 3D Scanner δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εκτελέσει μια πληθώρα εντολών για να ολοκληρώσει τη διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής. Πιο συγκεκριμένα:



Εικόνα 20: Μπάρα εντολών του λογισμικού NextEngine.

- SCAN

Με την εντολή αυτή δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να σταματά και να ξεκινά τη σάρωση.

- **BROWSE**

Με την εντολή αυτή αποθηκεύονται τα δεδομένα της σάρωσης στον ηλεκτρονικό υπολογιστή που είναι εγκατεστημένο το λογισμικό.

- **KITPINH ΜΠΑΡΑ**

Μας δίνει πληροφορίες για την κάθε εργασία που εκτελεί ο χρήστης, αναγράφοντας τις εντολές που χρησιμοποιεί. Επιπλέον, μας δίνει πληροφορίες για τη πορεία της κάθε σάρωσης που πραγματοποιούμε και τυχόν λάθη που μπορούν να προκύψουν.

- **ALIGN**

Η εντολή αυτή είναι ίσως η σημαντικότερη για το δεύτερο στάδιο της αντίστροφης μηχανικής, καθώς ο χρήστης μπορεί να ενώσει και ευθυγραμμίσει όλες τις σαρώσεις που έχει πραγματοποιήσει, δημιουργώντας έτσι ένα ολοκληρωμένο νέφος σημείων.

- **TRIM**

Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για να αφαιρέσουμε τα σημεία του νέφους που δεν χρειαζόμαστε για την περαιτέρω ανάλυση μας. (π.χ σημεία από το περιστροφικό βάθρο που μπορεί να έχουν σαρωθεί μαζί με το αντικείμενο)

- **FUSE**

Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για την βελτίωση της επιφάνειας του αντικειμένου. Πιο συγκεκριμένα, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αφαιρέσει όλες τις επιφάνειες που επικαλύπτουν η μία την άλλη. Επιπλέον, γεμίζει τις περιοχές που δεν περιέχουν υλικό, ενώ στην πραγματικότητα έχουν.

- **POLISH**

Και η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για την βελτίωση της επιφάνειας του αντικειμένου. Πιο συγκεκριμένα, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να γεμίσει επιφάνειες που δεν έχουν καλυφθεί λόγω πολυπλοκότητας του αντικειμένου.

- **CAD**

Η εντολή CAD δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει τις καμπύλες του δημιουργούν το αντικείμενο, ώστε να γίνει η εξαγωγή αυτών σε κάποιο σύστημα CAD-CAM.

- **OUTPUT**

Αποθηκεύει το αρχείο σε κάποια από τις μορφές που θέλουμε.(π.χ. STL, IGES κλπ.)

2.3 Σάρωση αντικειμένου με χρήση του NextEngine 3D Scanner.

Το αντικείμενο που επιλέχθηκε για σάρωση είναι ένα επίπεδο μεταλλικό τεμάχιο που έχει παραχθεί από κατεργασίες κοπής. Τα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε με το εξής αντικείμενο είναι η γυαλιστερή του επιφάνεια στην οποία αντανακλούν οι ακτίνες laser του σαρωτή. Για να αντιμετωπίσουμε το συγκεκριμένο πρόβλημα χρησιμοποιούμε κοινή πούδρα, την οποία απλώνουμε πάνω στο αντικείμενο και δεν επιτρέπει την ανάκλαση. Η δυσκολία που αντιμετωπίζει ο σαρωτής κατά τη διάρκεια της σάρωσης είναι η αναγνώριση των καμπύλων και οπών του αντικειμένου.

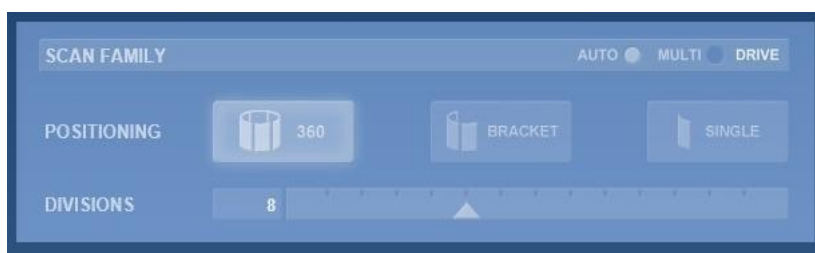


Εικόνα 21: Το αντικείμενο της σάρωσης.

2.3.1 Διαδικασία

Η διαδικασία ξεκινά με μια αρχική φωτογραφία του αντικειμένου από τον σαρωτή. Στη συνέχεια, ο σαρωτής αρχίζει να εκπέμπει ακτίνες laser που σαρώνουν το αντικείμενο και συλλέγουν τα δεδομένα της επιφάνειάς του, που επεξεργάζονται και επαληθεύεται η ακρίβεια της επιφάνειας αυτής. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία της σάρωσης μπορούμε να επιλέξουμε τον τύπο της σάρωσης, την ταχύτητα της, καθώς και την ανάλυση και τον φωτισμό του δωματίου.

Οι επιλογές που διαθέτουμε για να ρυθμίσουμε τη σάρωση μας, ώστε να πετύχουμε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα ποικίλουν ανάλογα το αντικείμενο που θα σαρώσουμε κάθε φορά. Στη συγκεκριμένη σάρωση του μεταλλικού επίπεδου αντικειμένου επιλέξαμε μία σάρωση SCAN 360 μοιρών. Επιπλέον, στην επιλογή Divisions επιλέξαμε το νούμερο 8 και μας δείχνει σε πόσα τμήματα θα πραγματοποιηθεί η σάρωση.



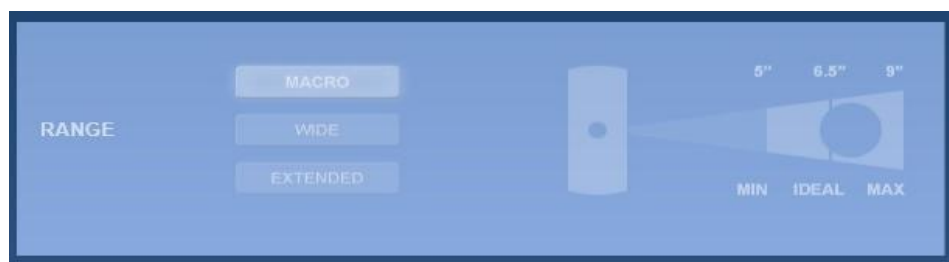
Εικόνα 22: Επιλογή τύπου και αριθμού σαρώσεων.

Το λογισμικό SCANSTUDIOHD μας δίνει, επίσης, την δυνατότητα να επιλέξουμε την ανάλυση της σάρωσης μας, δηλαδή πόσα σημεία ανά inches θα σαρώνει (Points/In*In), καθώς και την ένταση του φωτός κατά την διαδικασία της σάρωσης. Στην πρώτη επιλογή επιλέγουμε σάρωση ανάλυσης SD, ώστε να πάρουμε μια καλή και ξεκάθαρη εικόνα του αντικειμένου μας, με αποτυπωμένη κάθε λεπτομέρεια, χωρίς να φορτώσουμε τον υπολογιστή μας με υψηλή ανάλυση HD που μπορεί να μας δημιουργήσει πρόβλημα σε επόμενο στάδιο της εργασίας μας. Η επιλογή του TARGET επιλέγεται ανάλογα το υλικό του αντικειμένου που σαρώνουμε, αν δηλαδή έχει γυαλιστερές επιφάνειες που δημιουργούν αντανάκλαση στις ακτίνες laser του σαρωτή. Για την επιλογή του TARGET σημαντικός παράγοντας είναι και ο ήδη υπάρχων φωτισμός του δωματίου. Στη συγκεκριμένη σάρωση, η οποία πραγματοποιήθηκε νύχτα και το αντικείμενο ήταν κατάλληλα πουδραρισμένο επιλέξαμε την εντολή NEUTRAL.



Εικόνα 23: Επιλογή (Points/In*In) και TARGET

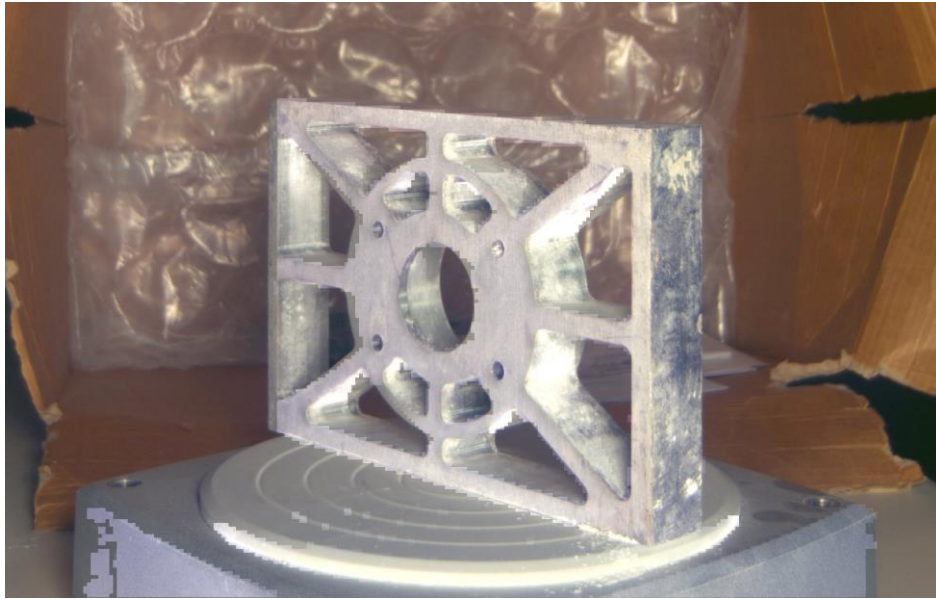
Ανάλογα με το μέγεθος του αντικειμένου που σαρώνουμε, πρέπει να επιλέξουμε ανάμεσα στο Macro mode και το Wide mode. Η διαδικασία επιλογής είναι απλή. Επιλέγουμε το Macro mode και με την επιλογή Turn στρέφουμε το αντικείμενο μας κατά 360 μοίρες παρατηρώντας αν βρισκόμαστε κατά την διάρκεια περιστροφής εντός του πλαισίου ROI. Εάν κάποιο μέρος του αντικειμένου βρεθεί εκτός ROI κατά την περιστροφή του, τότε η επιλογή του Macro mode δεν είναι κατάλληλη και επιλέγουμε την επιλογή Wide mode, και αλλάζοντας τις επιλογές φωτισμού προσπαθούμε να πετύχουμε μια καλή σάρωση. Στη συγκεκριμένη σάρωση το αντικείμενο ήταν εντός ROI και κατά την περιστροφή επιλέγουμε το Macro mode.



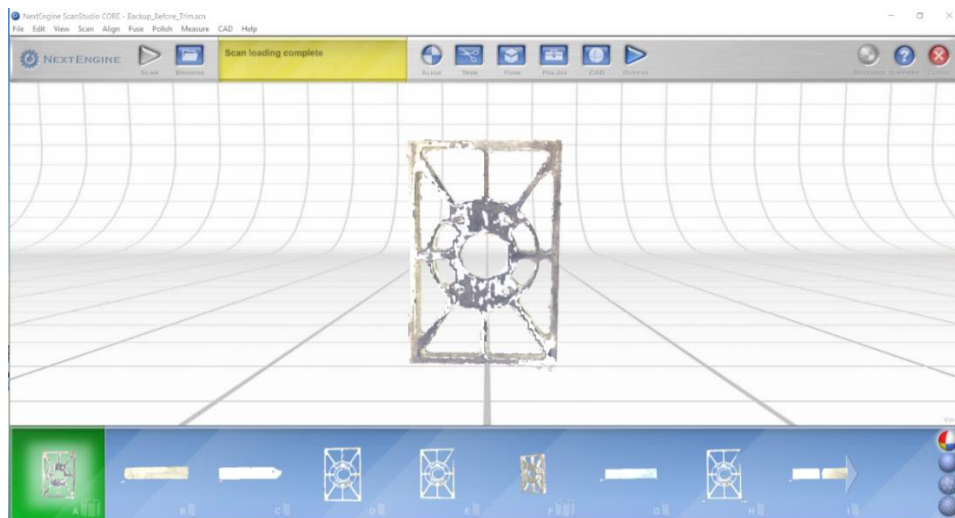
Εικόνα 24: Επιλογή του RANGE.

Επιπλέον, το λογισμικό μας δείχνει τον χρόνο (Time) που διαρκεί η σάρωση, καθώς και την συνολική χωρητικότητα που λαμβάνει το αρχείο (Memory).

Κάνουμε επιμέρους σαρώσεις, οριζόντιες (εικόνα 25) και κάθετες (εικόνα 21), για να έχουμε δεδομένα για όλες τις επιφάνειες του αντικειμένου και να χρησιμοποιήσουμε τα καλύτερα για τη συνέχεια της εργασίας. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της σάρωσης συνεχίζουμε την επεξεργασία του αντικειμένου στο λογισμικό SCANSTUDIOHD.

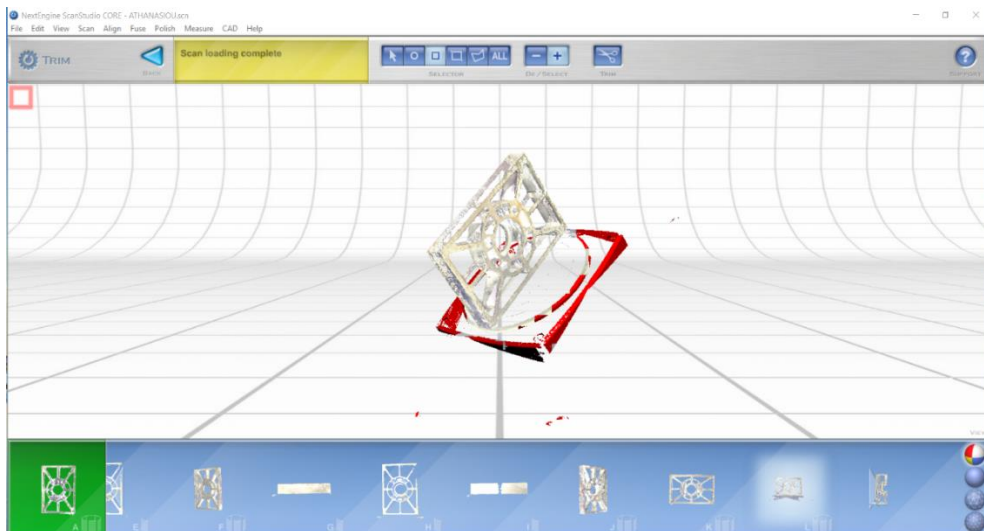


Εικόνα 25: Οριζόντια σάρωση αντικειμένου.



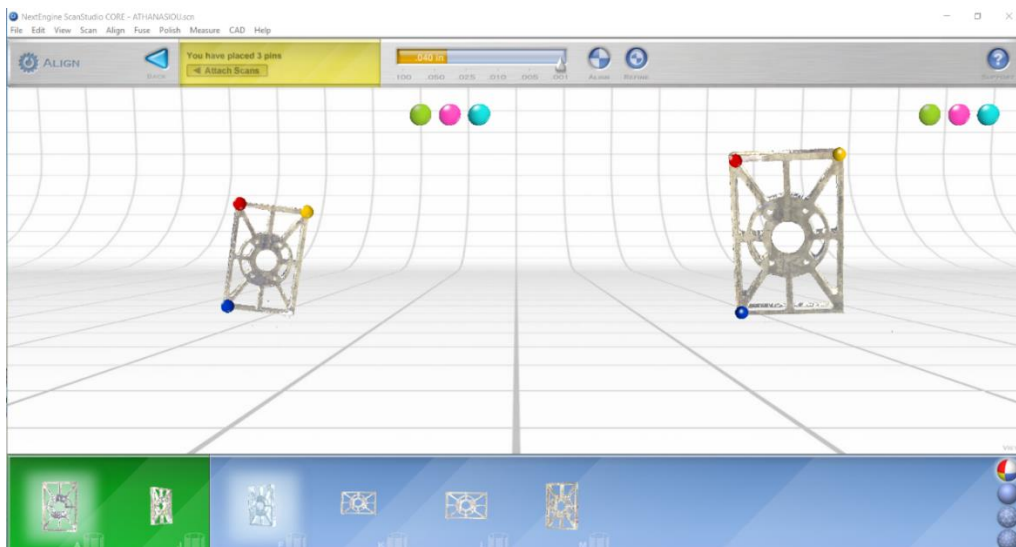
Εικόνα 26: Περιβάλλον εργασίας ScanStudioHD μετά τη σάρωση.

Έπειτα, μετά την ολοκλήρωση της σάρωσης τα δεδομένα της κάθε φωτογραφίας αντιστοιχίζονται και με χρήση της εντολής Trim αφαιρούμε τυχόν επιφάνειες που έχουν σαρωθεί από τον scanner και δεν θα έπρεπε να έχουν σαρωθεί, όπως για παράδειγμα το AUTOPOSITIONER, το οποίο εμφανίζεται σε κάθε σάρωση.

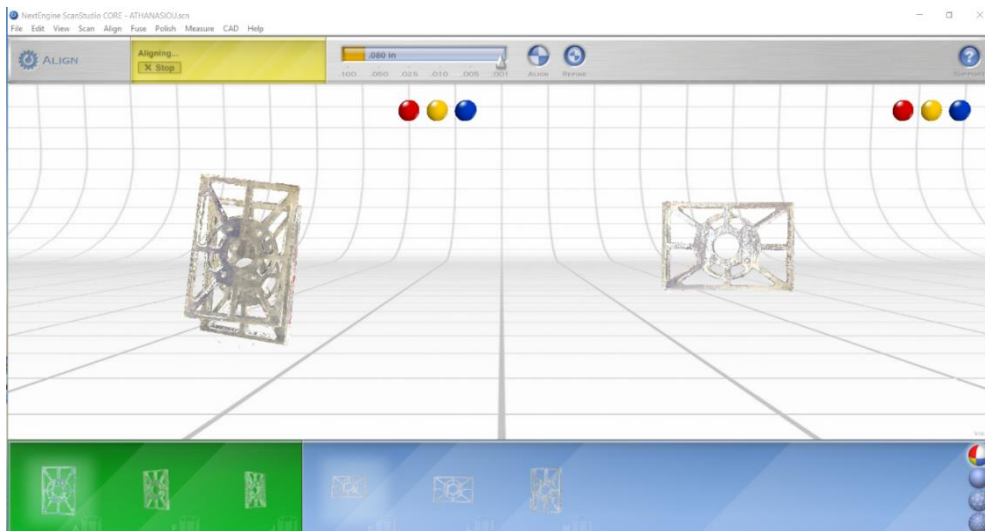


Εικόνα 27: Το αντικείμενο της σάρωσης και οι μαρκαρασμένες περιοχές που θέλουμε να διαγράψουμε.

Το λογισμικό SCANSTUDIOHD μας δίνει τη δυνατότητα με την εντολή Align να ευθυγραμμίσουμε τις διάφορες σαρώσεις, έτσι ώστε να δημιουργήσουμε ένα πυκνό πλέγμα. Η εντολή Align χρησιμοποιεί τα pins, τα οποία τοποθετούνται σε όσα σημεία θέλουμε και το σύστημα αυτόματα κάνει την ευθυγράμμιση.

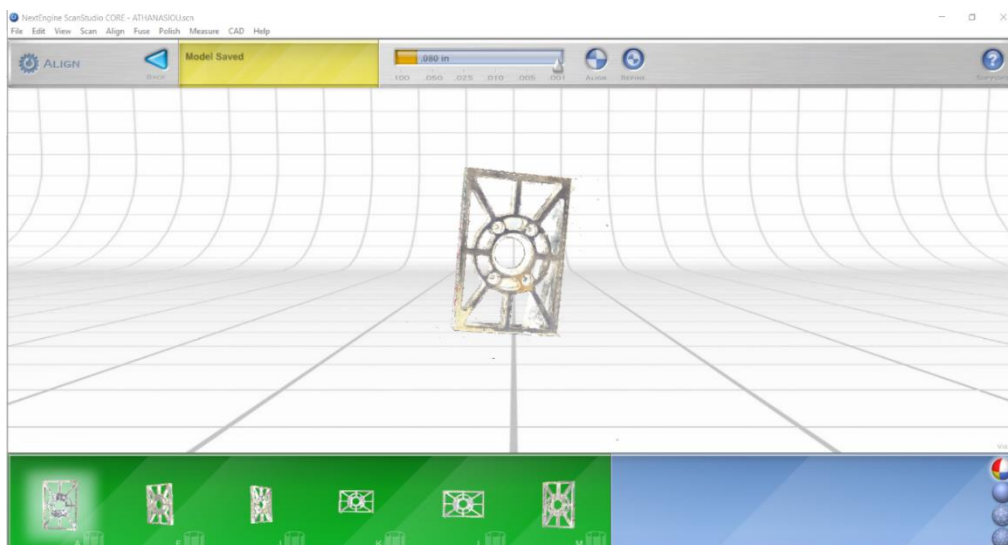


Εικόνα 28: Ένωση με Align δύο κάθετων σαρώσεων του αντικειμένου.

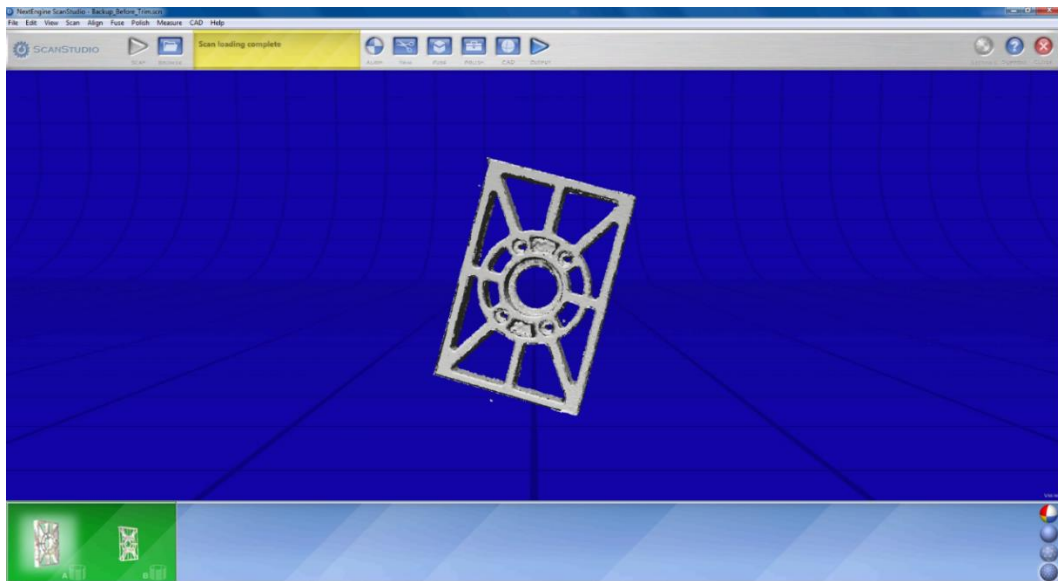


Εικόνα 29: Ένωση με Align μιας οριζόντιας και μίας κάθετης σάρωσης του αντικειμένου.

Μετά το τέλος των εντολών Align και Trim έχουμε το αντικείμενο μας σε ολοκληρωμένη μορφή, με όλες τις σαρώσεις να είναι σωστά επικαλυμμένες στον χώρο, δίνοντας μας ένα αποτέλεσμα ίδιο με αυτό του πραγματικού αντικειμένου μας.



Εικόνα 30: Το αντικείμενο μετά το τέλος της επεξεργασίας στο ScanStudioHD.



Εικόνα 31: Το αντικείμενο σε Shaded απεικόνιση στο λογισμικό ScanStudioHD.

2.3.2 Εξαγωγή αρχείου αντίστροφης μηχανικής

Το λογισμικό του SCANSTUDIOHD μας δίνει τη δυνατότητα με την επιλογή CAD να συνδέσουμε την σάρωση ενός αντικειμένου με κάποιο άλλο σύστημα CAD-CAM, με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία, κάνοντας την σάρωση μας χρήσιμη. Με την εντολή CAD ο χρήστης μπορεί να ορίσει στο μοντέλο ορισμένες παραμέτρους, αλλά και να εμφανίσει μαθηματικές εφαρμογές, οι οποίες χρησιμεύουν κάθε φορά σε άλλα προγράμματα που εξάγουν συμπεράσματα.

Στη παρούσα εργασία θα γίνει εξαγωγή ενός IGES file το οποίο θα επεξεργαστεί με το λογισμικό CAD-CAM NX Siemens.

Οι επιλογές που μας δίνει η εντολή CAD είναι:

- Orient

Η επιλογή αυτή ορίζει τον προσανατολισμό του αντικειμένου στο χώρο.



Εικόνα 32: Επιλογές του Orient.

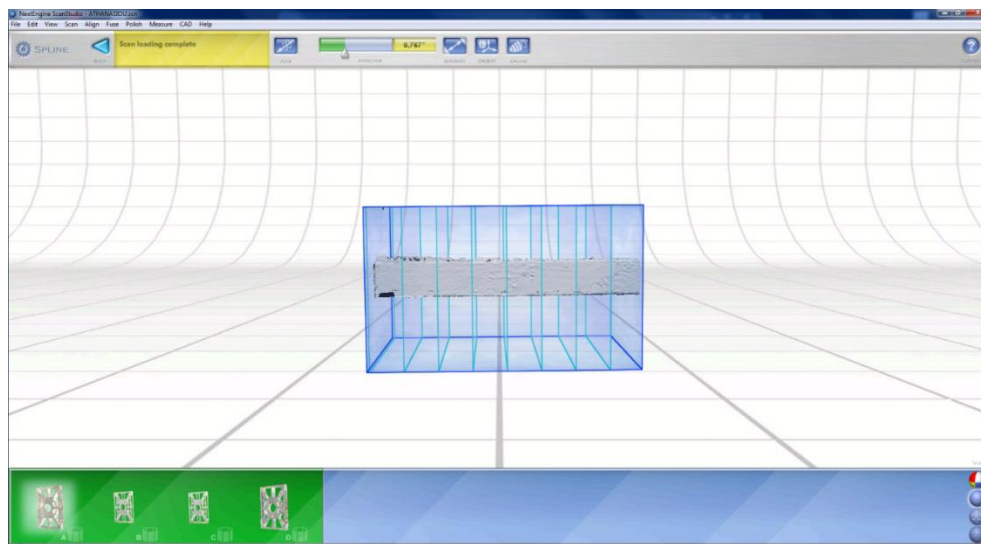
- Spline

Η επιλογή αυτή μας δίνει τη δυνατότητα να εμφανίσουμε καμπύλες Spline που μεταφράζονται από κάποιο άλλο σύστημα για περαιτέρω επεξεργασία.



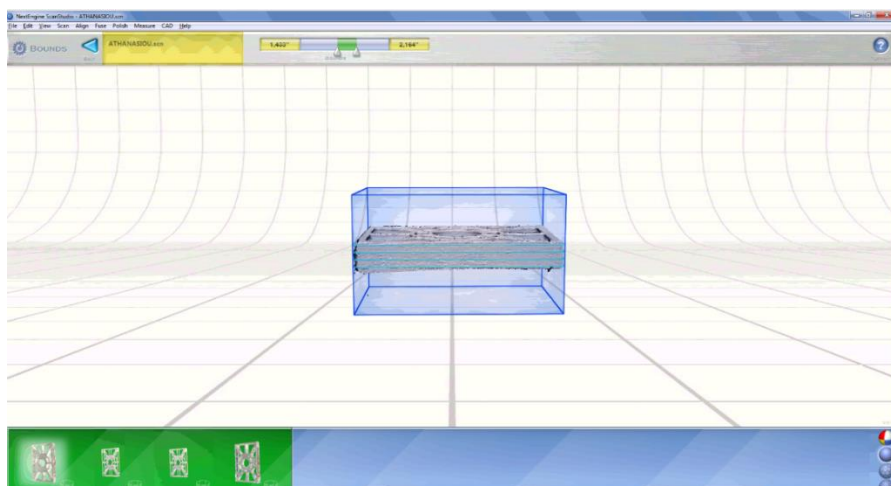
Εικόνα 33: Επιλογές του Spline.

Αρχικά, θα επιλέξουμε στο SCANSTUDIOHD την εντολή CAD και με την εντολή ORIENT θα μας εμφανιστεί αυτόματα ένα μπλε κουτί και μέσα σε αυτό το αντικείμενο μελέτης μας.

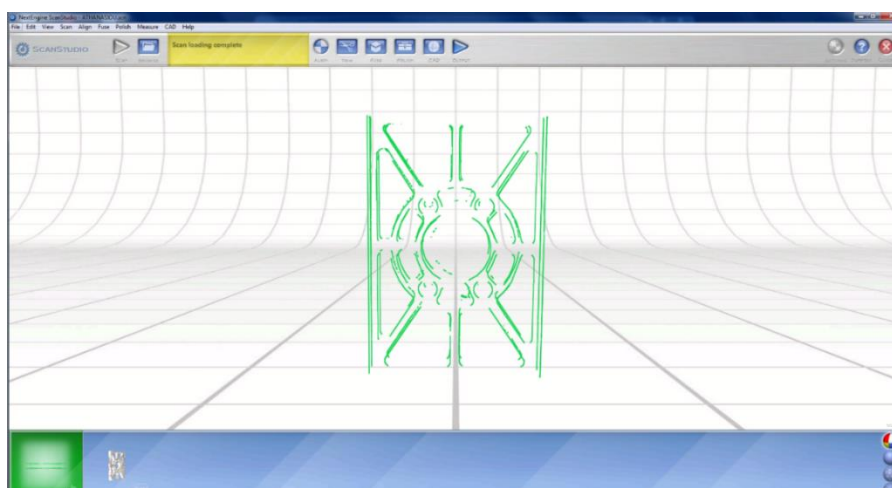


Εικόνα 34: Τοποθέτηση του αντικειμένου μελέτης στον τρισδιάστατο χώρο του λογισμικού.

Τέλος με την εντολή SPLINE θα εξάγουμε τέσσερις οριζόντιες τομές του αντικειμένου από τις οποίες θα πάρουμε την γεωμετρία του την οποία θα αποθηκεύσουμε ως αρχείο τύπου IGES.



Εικόνα 35: Καθορισμός τεσσάρων τομών με την εντολή *SPLINE*.



Εικόνα 36: Καμπύλες που δημιουργήθηκαν από την εντολή *SPLINE*.

Κεφάλαιο 3 – Το λογισμικό Siemens NX 12.00

3.1 Παρουσίαση λογισμικού.

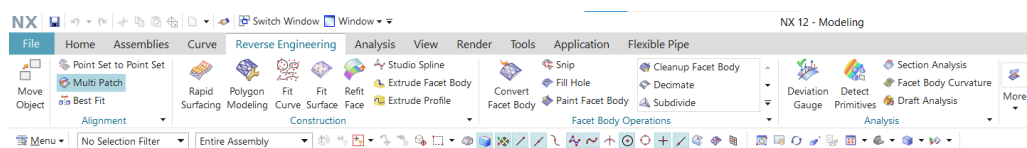


Εικόνα 37: Η έκδοση του λογισμικού που χρησιμοποιήσαμε. (πηγή FILECR.com)

Το σύστημα NX 12.00 είναι μια ευέλικτη και ισχυρή ολοκληρωμένη λύση που βοηθά τον χρήστη να δημιουργεί γρήγορα και αποτελεσματικά νέα προϊόντα. Κατασκευασμένο από τη Γερμανική εταιρεία Siemens, είναι ένα ευρέως γνωστό εργαλείο CAD-CAM-CAE στον χώρο της βιομηχανίας, καθώς με αυτό μπορούμε να εκτελέσουμε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, όπως σχεδιασμό, μηχανική ανάλυση, προσομοιώσεις, δημιουργία του κώδικα μηχανής για εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης, δημιουργία φωτορεαλιστικών μοντέλων, και τέλος ένα ισχυρό εργαλείο για αντίστροφη μηχανική.

3.1.1 Εργαλεία αντίστροφης μηχανικής στο NX 12.00.

Αφού επιλέξουμε την εμφάνιση των εργαλείων της αντίστροφης μηχανικής, μια μεγάλη ποικιλία εντολών εμφανίζονται στη μπάρα reverse engineering.



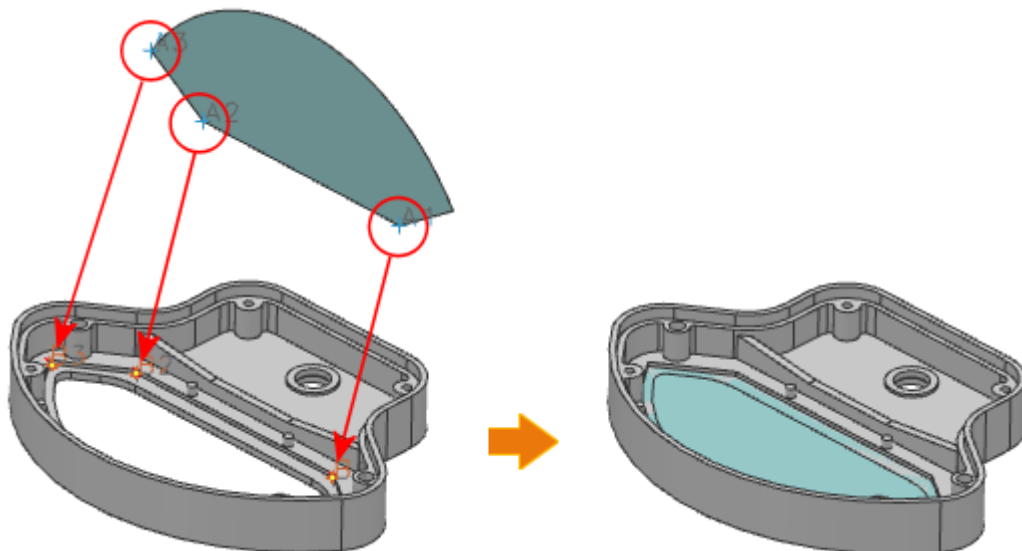
Εικόνα 38: Εργαλεία του REVERSE ENGINEERING.

Οι εντολές που βρίσκονται στη καρτέλα της αντίστροφης μηχανικής είναι χωρισμένες σε κατηγορίες, ανάλογα με την χρήση τους. Οι εντολές είναι χωρισμένες στις κατηγορίες Alignment, Construction, Faced Body Operations, Analysis.

Στη κατηγορία Alignment ο χρήστης μπορεί να ευθυγραμμίσει αντικείμενα προϊόντα αντίστροφης μηχανικής δημιουργώντας έτσι ένα ολοκληρωμένο αντικείμενο. Στη κατηγορία αυτή βρίσκονται οι παρακάτω εντολές:

- **Point set to Point set**

Με την εντολή Point set to Point set ο χρήστης μπορεί να ευθυγραμμίσει δύο αντικείμενα χρησιμοποιώντας σύνολα σημείων. Για να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη εντολή θα πρέπει να καθοριστούν τουλάχιστον τρία σημεία αναφοράς.



Εικόνα 39: Ευθυγράμμιση ελάσματος σε αντικείμενο χρησιμοποιώντας ένα σύνολο σημείων.

- **Multi Patch**

Με την εντολή Multi Patch ο χρήστης μπορεί να ευθυγραμμίσει πολλά σώματα όψεων μεταξύ τους χωρίς να χρειάζεται να ορίσει σημεία αναφοράς. Πιο συγκεκριμένα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αντικείμενα που βρίσκονται κοντά και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το Multi Patch Alignment να πραγματοποιήσει καλύτερη ευθυγράμμιση.

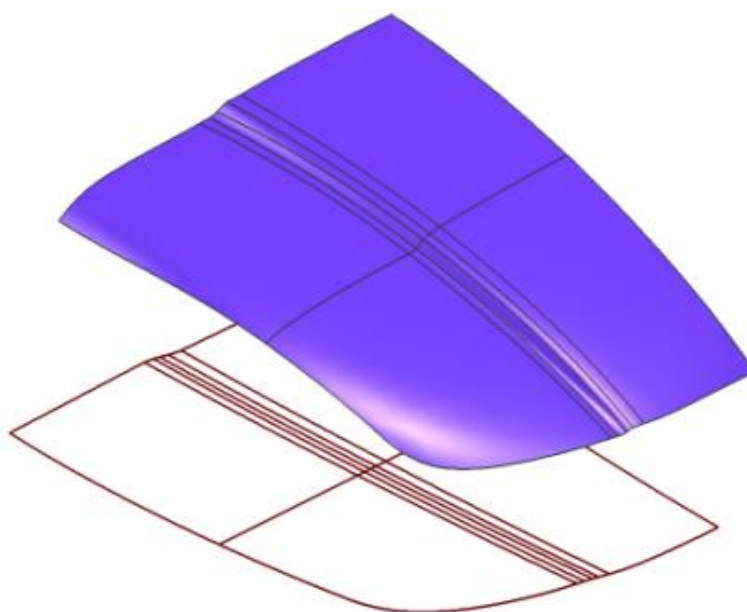
- **Best Fit**

Με την εντολή Best Fit ο χρήστης μπορεί να ευθυγραμμίσει γεωμετρικά αντικείμενα μεταξύ τους σε μια επαναληπτική διαδικασία, χρησιμοποιώντας μια πραγματική μέθοδο βέλτιστης προσαρμογής. Επιπλέον μπορεί να ευθυγραμμίσει δύο ελαφρώς διαφορετικά γεωμετρικά σχήματα ώστε να

ταιριάζουν όσο το δυνατόν περισσότερο. Τέλος ο χρήστης μπορεί να καθορίσει περιορισμούς προσαρμογής για τον έλεγχο του βαθμού ελευθερίας κίνησης της ευθυγράμμισης.

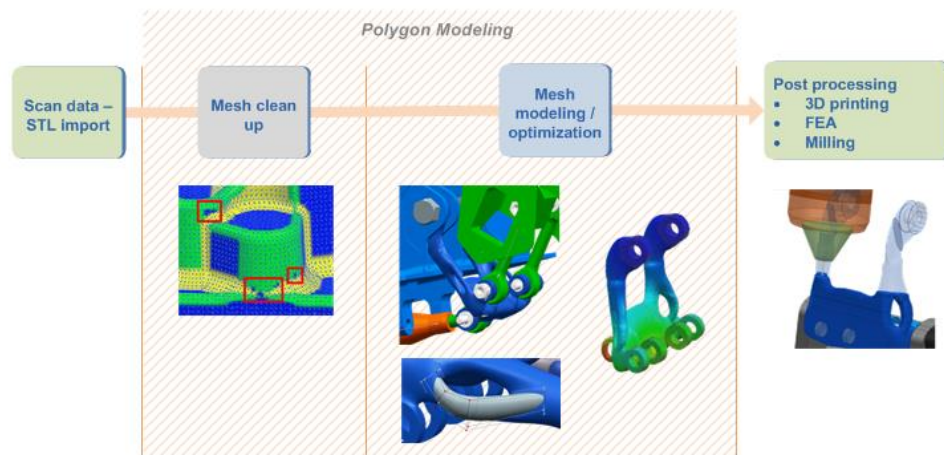
Η επόμενη κατηγορία εντολών είναι οι εντολές Construction με τις οποίες ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει γεωμετρικά σχήματα και επιφάνειες προσαρμοσμένα πάνω σε δεδομένα σάρωσης. Οι εντολές που υπάρχουν στην κατηγορία αυτή είναι:

- **Rapid Surfacing:** Με την εντολή Rapid Surfacing, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει σε μικρό χρονικό διάστημα επιφάνειες σε ψηφιοποιημένα αντικείμενα, χωρίς να έχει πολύ καλό αποτέλεσμα στην ποιότητα της επιφάνειας αυτής. Με τον καθορισμό των παραμέτρων Degree και Segments ελέγχεται ο βαθμός και τα επιμέρους τμήματα της επιφάνειας και δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας ενός δικτύου καμπυλών στο σώμα της επιφάνειας.



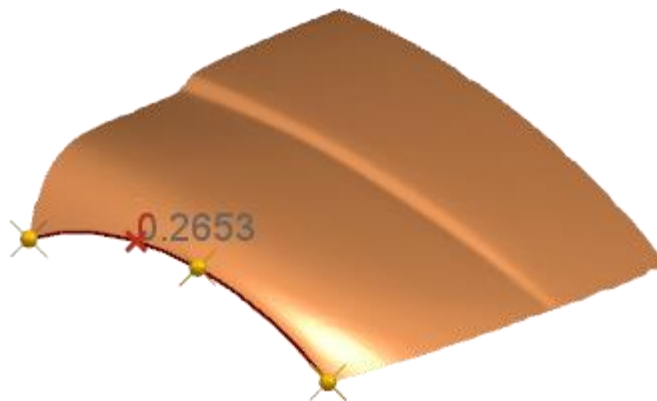
Εικόνα 40: Δίκτυο καμπύλης και προκύπτουσα ταχεία επιφάνεια.

- **Polygon Modeling:** Με την εντολή Polygon Modeling ο χρήστης μπορεί να εισάγει σαρωμένα δεδομένα, και να δημιουργήσει πολυγωνικά μοντέλα τα οποία μπορεί να τροποποιήσει στο NX. Όταν πραγματοποιείτε εκκαθάριση πλέγματος και μοντελοποίηση ή βελτιστοποίηση πλέγματος, μπορείτε να επεξεργαστείτε τη σύγκλιση ή τη γεωμετρία όψεων στο περιβάλλον εργασίας χωρίς ιστορικό εργασίας μοντελοποίησης πολυγώνου.



Εικόνα 41: Διαδικασία αντίστροφης μηχανικής με την εντολή Polygon Modeling.

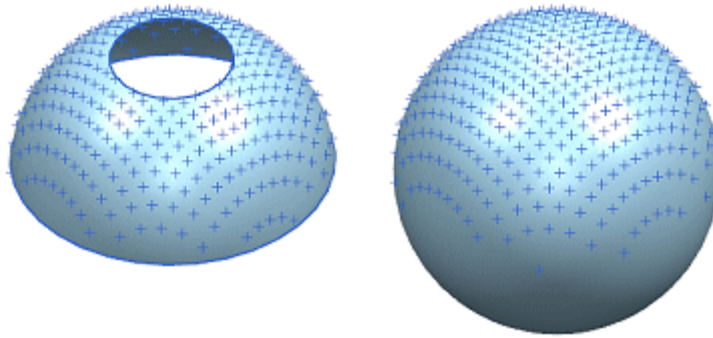
- Fit Curve:** Με την εντολή Fit Curve ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει Splines καμπύλες, γραμμές, κύκλους και καμπύλες που προσαρμόζονται στα δεδομένα σάρωσης της αντίστροφης μηχανικής. Το μέγιστο σφάλμα και η θέση του σφάλματος εμφανίζονται στην οθόνη. Τέλος, για τις καμπύλες Splines μπορούμε να ορίσουμε περιορισμούς τελικού σημείου και εσωτερικής συνέχειας και μπορούμε να ελέγξουμε την ακρίβεια και το σχήμα της τοποθέτησης, καθορίζοντας τις παραμέτρους Degree and Segments, Degree and Tolerance και Template Curve.



Εικόνα 42: Δημιουργία καμπύλης Spline στην όψη μιας επιφάνειας.

- Fit Surface:** Με την εντολή Fit Surface ο χρήστης μπορεί να προσαρμόσει επιφάνειες σε ψηφιοποιημένα αντικείμενα ή δεδομένα σάρωσης. Με τον καθορισμό των παραμέτρων Degree και Patches μπορούμε να ελέγξουμε τον βαθμό της επιφάνειας που θα δημιουργήσουμε, καθώς και τα επιμέρους

τμήματα που θα αποτελείται. Τέλος, μπορούμε να ελέγξουμε την κατεύθυνση προσαρμογής και ομαλότητας της τοποθετημένης επιφάνειας. Το μέγιστο σφάλμα παρουσιάζεται στην οθόνη.

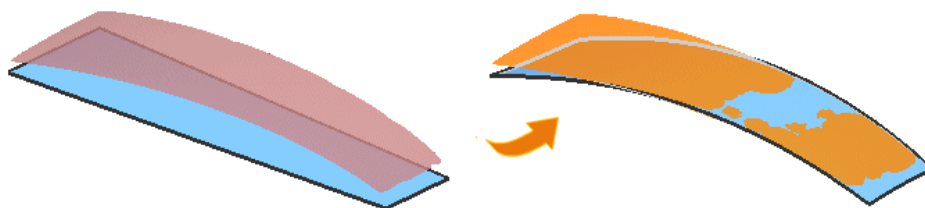


Εικόνα 43: Επιφάνειες ανοικτού και κλειστού τύπου προσαρμοσμένες πάνω σε ψηφιοποιημένα αντικείμενα.

- **Refit Face**

Με την εντολή Refit Face ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει μια υπάρχουσα επιφάνεια, αλλάζοντας της βαθμό, αριθμό επιδιορθώσεων ή ανοχή. Μπορεί, επίσης, να προσαρμόσει ένα πρόσωπο στη γεωμετρία στόχο.

Η εντολή Refit Face είναι πολύ χρήσιμη, όταν η γεωμετρία έχει βαριά δομή πόλων ως αποτέλεσμα προηγούμενων εργασιών, όταν τα δεδομένα είναι αντίστροφης μηχανικής που χρησιμοποιούνται για εργασίες λεπτομερειών, είτε όταν τα δεδομένα είναι μεταφρασμένα από άλλο λογισμικό CAD.

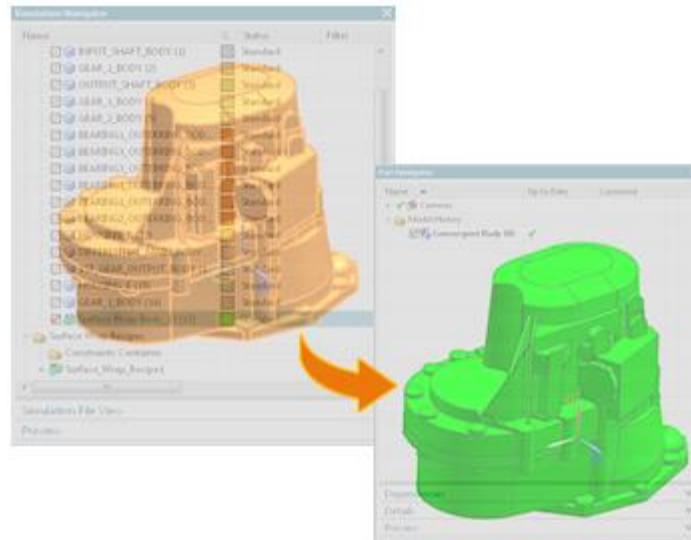


Εικόνα 44: Χρήση της εντολής Refit Face πάνω σε επιφάνεια.

Η επόμενη κατηγορία εντολών είναι οι εντολές Faced Body Operations. Στη κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να κάνει αλλαγές στο μοντέλο όψεων που έχει. Οι εντολές στη συγκεκριμένη κατηγορία είναι:

- **Convert Faced Body**

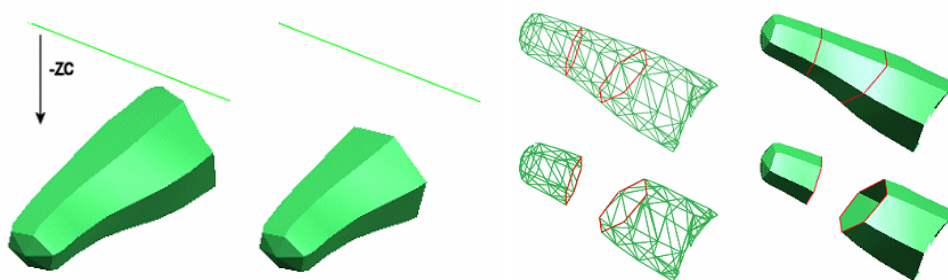
Με την εντολή Convert Faced Body ο χρήστης μπορεί να μετατρέψει ένα υπάρχον σώμα πολυγώνου σε ένα αντικείμενο CAD και να το αποθηκεύσει. Με την εντολή αυτή δίνεται η δυνατότητα τροποποίησης γεωμετρίας σε σώμα πολυγώνου που δεν σχετίζεται με γεωμετρία CAD για παράδειγμα συμπαγή σώματα πολυγώνου, φύλλα που δημιουργήθηκαν με την εντολή Face from Mesh, και ρευστά σώματα που δημιουργήθηκαν με την εντολή Surface Wrap Recipe.



Εικόνα 45: Μετατροπή πολυγωνικού μοντέλου σε μοντέλο CAD.

- **Snip**

Με την εντολή Snip ο χρήστης μπορεί να αποκόψει ή να διαιρέσει σώματα όψεων.

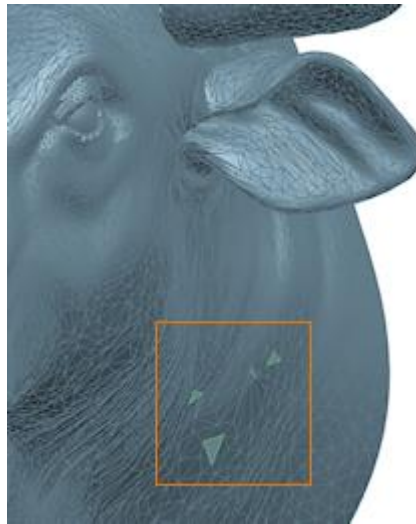


Εικόνα 46: Αποκοπή σώματος όψης προβάλλοντας μια καμπύλη και διαίρεση σώματος όψης.

- **Fill Hole**

Με την εντολή Fill Hole ο χρήστης μπορεί να κλείσει τρύπες σε πολυεπίπεδα μοντέλα δημιουργώντας στεγανά σώματα όψεων. Πιο συγκεκριμένα τα σώματα όψεων που δημιουργούνται από συσκευές οπτικής σάρωσης εμφανίζουν συχνά μικρές οπές που προκαλούνται από ανακρίβειες της σάρωσης. Οι συγκεκριμένες ατέλειες μπορούν να προκαλέσουν σφάλματα σε

εφαρμογές που βασίζονται σε όψεις για παράδειγμα τρισδιάστατη εκτύπωση και χύτευση όπως επίσης δυσκολεύουν την διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής.

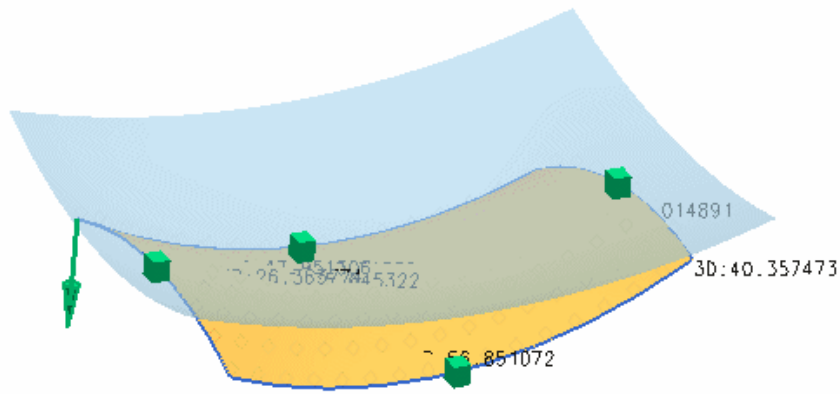


Εικόνα 47: Ωπές σε αντικείμενο όψεως.

Τέλος στη κατηγορία Analysis υπάρχουν εντολές που μας δίνουν αποτελέσματα με αριθμούς ή χρωματική αναπαράσταση για να κρίνει ο χρήστης εάν το τελικό αντικείμενο προϊόν αντίστροφης μηχανικής είναι αποδεκτό ή όχι. Οι εντολές στην συγκεκριμένη κατηγορία είναι:

- **Deviation Gauge**

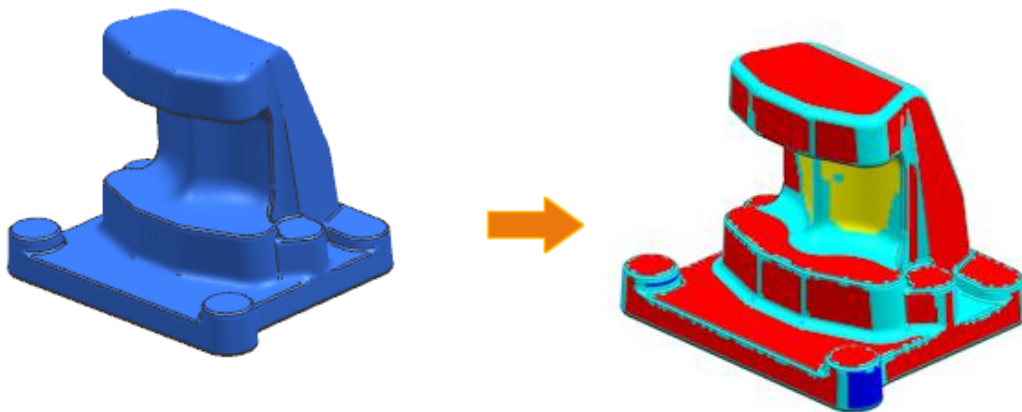
Με την εντολή Deviation Gauge ο χρήστης μπορεί να απεικονίσει την απόκλιση μεταξύ μιας καμπύλης ή επιφάνειας και ενός αντικειμένου αναφοράς. Τα όρια ανοχής της απόκλισης ορίζονται από το χρήστη. Η παρουσίαση των δεδομένων απόκλισης εκφράζονται με ετικέτες, βελόνες ή χρωματική αναπαράσταση.



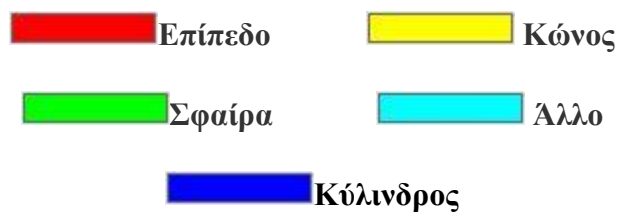
Εικόνα 48: Εμφάνιση απόκλισης δύο επιφανειών με ετικέτες.

- **Detect Primitives**

Με την εντολή Detect Primitives ο χρήστης μπορεί να προσδιορίσει τους τύπους σχήματος ενός αντικειμένου και να προσθέσει χαρακτηριστικά χρώματος σε αυτά. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ρυθμίσει την ευαισθησία.



Εικόνα 49 Μοντέλο και η χρωματική αναπαράσταση μετά τη χρήση της εντολής Detect Primitives.

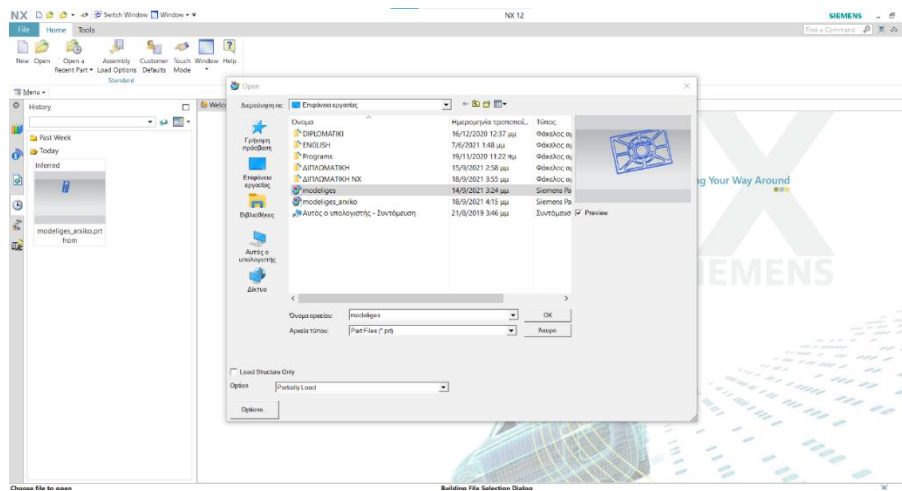


Εικόνα 50: Μοντέλο και η χρωματική αναπαράσταση μετά τη χρήση της εντολής Detect Primitives.

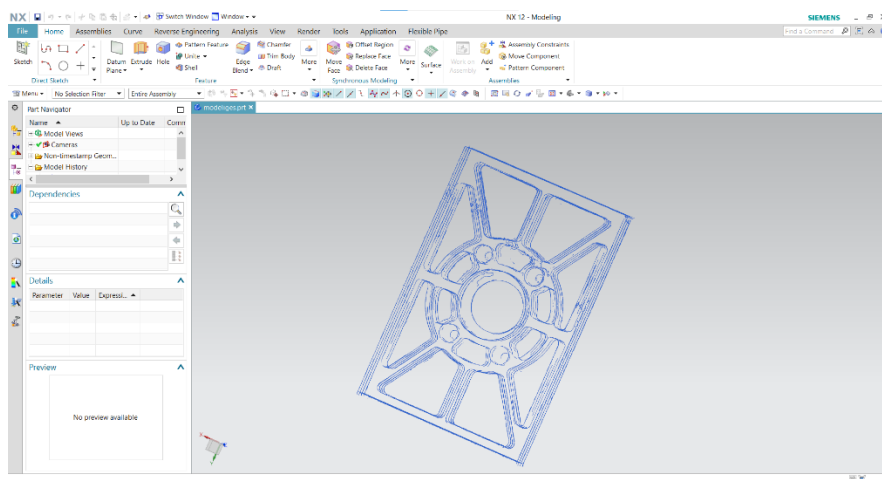
3.1.2 Επεξεργασία του αντικειμένου σάρωσης με την εντολή Fit Curve

Στη παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε εισαγωγή αρχείων CAD τύπου IGES και STL. Σκοπός της εργασίας είναι η επεξεργασία των αρχείων με εντολές που μας δίνει το Reverse Engineering του λογισμικού Siemens NX 12.00.

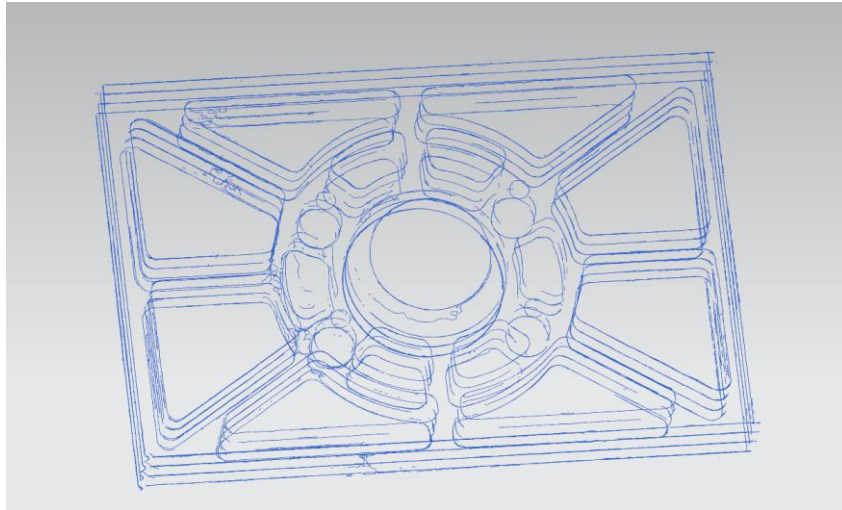
Για να εισάγουμε το αρχείο στο NX επιλέγουμε file→open→IGESFILE και στην επιφάνεια εργασίας του λογισμικού μας εμφανίζεται το αντικείμενο που σαρώσαμε ως ένα σκίτσο που απαρτίζεται από καμπύλες splines.



Εικόνα 51: Εξαγωγή του IGES file στο NX.

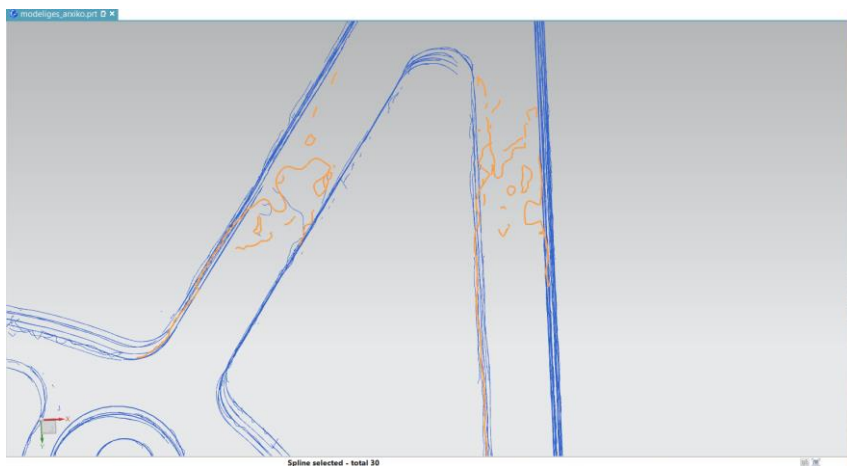


Εικόνα 52: Το σκίτσο του αντικειμένου που απαρτίζεται από splines καμπύλες.



Εικόνα 53: Το σκίτσο του αντικειμένου σε μεγέθυνση.

Στη συνέχεια της εργασίας μας, επειδή, κατά τη μετάφραση του IGES αρχείου, παρουσιάστηκαν στο σκίτσο μας καμπύλες που δεν θα χρησιμοποιηθούν αργότερα, με την εντολή delete τις επιλέγουμε και τις διαγράφουμε.

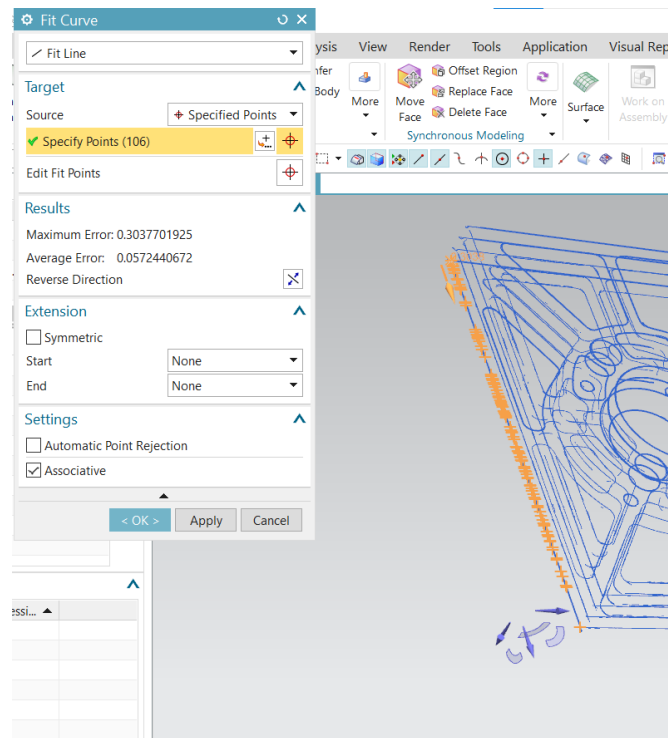


Εικόνα 54: Διαγραφή καμπυλών splines που δεν θα χρησιμοποιηθούν.

Έπειτα, με χρήση της εντολής **Fit Curve** που μας παρέχει το Reverse Engineering του προγράμματος θα δημιουργήσουμε καμπύλες, γραμμές και κύκλους, πάνω στα δεδομένα της σάρωσης, με σκοπό να πάρουμε τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειαζόμαστε σχετικά με τη γεωμετρία του αντικειμένου μας.

Πιο συγκεκριμένα, με την επιλογή fit line που μας δίνει η εντολή fit curve θα προσαρμόσουμε ευθύγραμμα τμήματα πάνω σε καμπύλες splines που παριστάνουν ευθείες γραμμές.

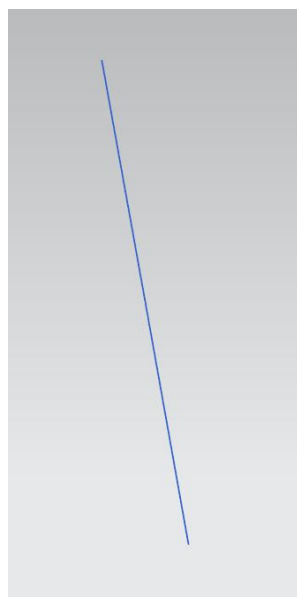
Για τη δημιουργία του ευθύγραμμου τμήματος επιλέχθηκαν η αρχή και το τέλος κάθε καμπύλης spline, ώστε το ευθύγραμμο τμήμα που θα δημιουργηθεί να προσεγγίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια το αντικείμενο μελέτης.



Εικόνα 55: Δημιουργία ευθύγραμμου τμήματος με την εντολή fit curve.

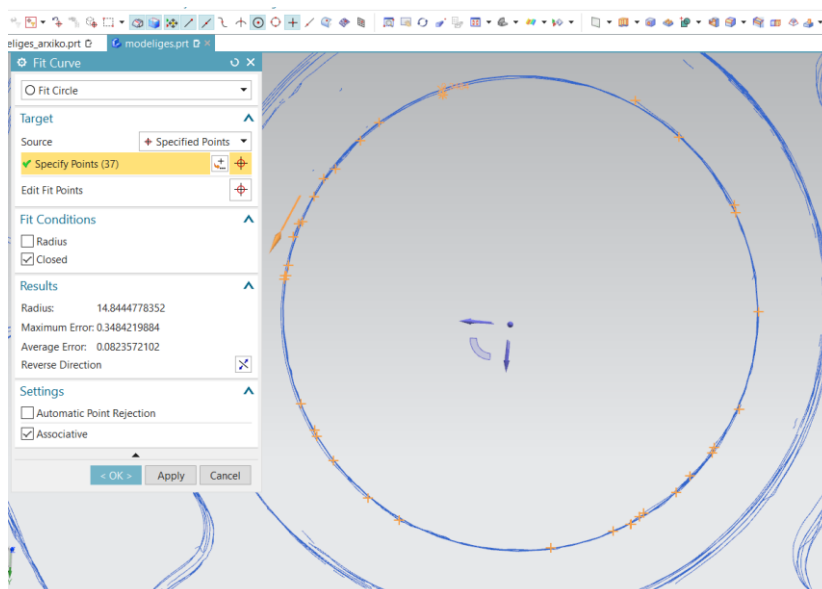
Η δημιουργία του ευθύγραμμου τμήματος που δημιουργήθηκε κρίνεται επιτυχημένη, καθώς το μέσο σφάλμα που παρουσιάζεται είναι 0.05724, που είναι επιθυμητό για εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής.

Το ευθύγραμμο τμήμα που δημιουργήθηκε από την προσαρμογή παρουσιάζεται στην (εικόνα 53).



Εικόνα 56: Το ευθύγραμμο τμήμα που δημιουργήθηκε με την εντολή *fit curve*.

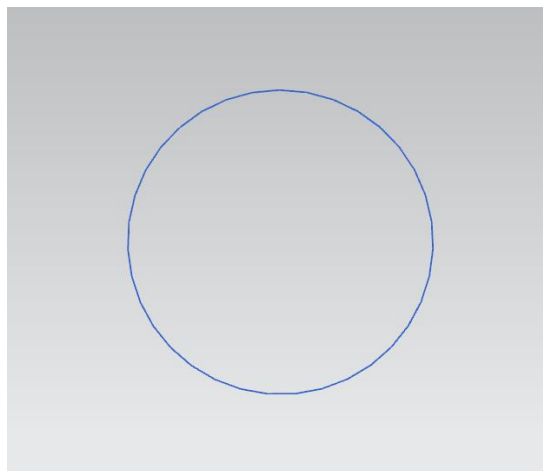
Με την επιλογή *fit circle* θα προσαρμόσουμε κύκλους πάνω σε καμπύλες *splines* που παριστάνουν κύκλους. Η μέθοδος που χρησιμοποιούμε στη δημιουργία του κύκλου είναι ίδια με αυτή του ευθύγραμμου τμήματος. Δηλαδή, επιλέγουμε την αρχή και το τέλος κάθε καμπύλης που παριστάνει τόξο κύκλου και το σύστημα αυτόματα δημιουργεί έναν κύκλο προσαρμοσμένο στα δεδομένα του αντικειμένου μελέτης.



Εικόνα 57: Δημιουργία κύκλου με την εντολή *fit curve*.

Η δημιουργία του κύκλου που δημιουργήθηκε κρίνεται επιτυχημένη, καθώς το μέσο σφάλμα που παρουσιάζεται είναι 0.08235, που είναι επιθυμητό για εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής.

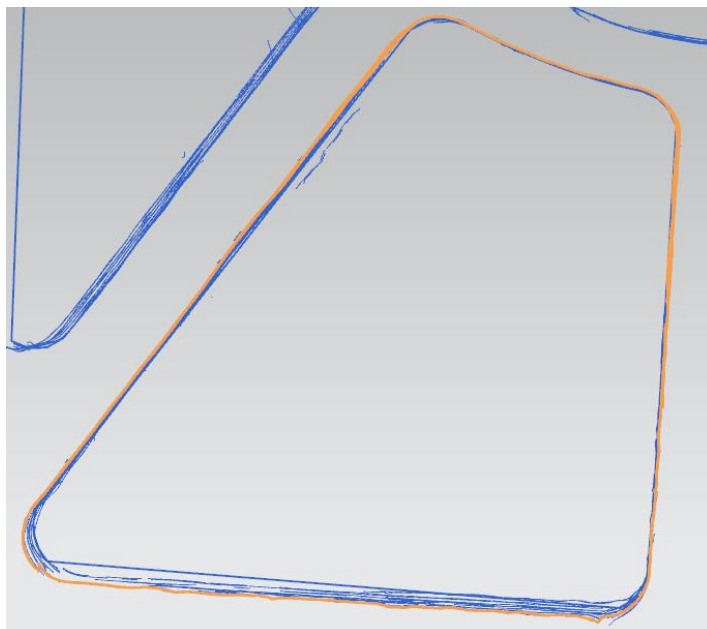
Ο Κύκλος που δημιουργήθηκε από την προσαρμογή παρουσιάζεται στην (εικόνα 55).



Εικόνα 58: Ο κύκλος που δημιουργήθηκε με την εντολή *fit curve*.

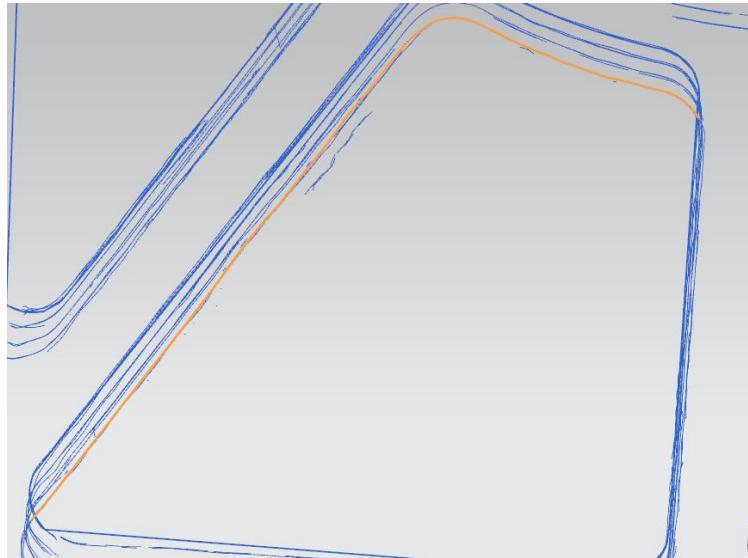
Τέλος, στις κοίλες επιφάνειες, αλλά και στα τόξα, θα προσαρμόσουμε με την επιλογή *fit spline* καμπύλες *spline* πάνω στις καμπύλες που έχει δημιουργήσει ο μεταφραστής με όσο δυνατόν μεγαλύτερη συνέπεια στην ομαλότητα των καμπυλών. Όταν επιλέξουμε το *Infer*, τότε το σύστημα αυτόματα κάνει αναγνώριση της καμπύλης και έπειτα κάνοντας δοκιμές του *Degree* και *Segments* προσπαθούμε να κάνουμε όσο το δυνατόν καλύτερη προσαρμογή.

Αρχικά θέλουμε να προσεγγίσουμε τις ακμές του κοψίματος του αντικειμένου της (εικόνας 56).



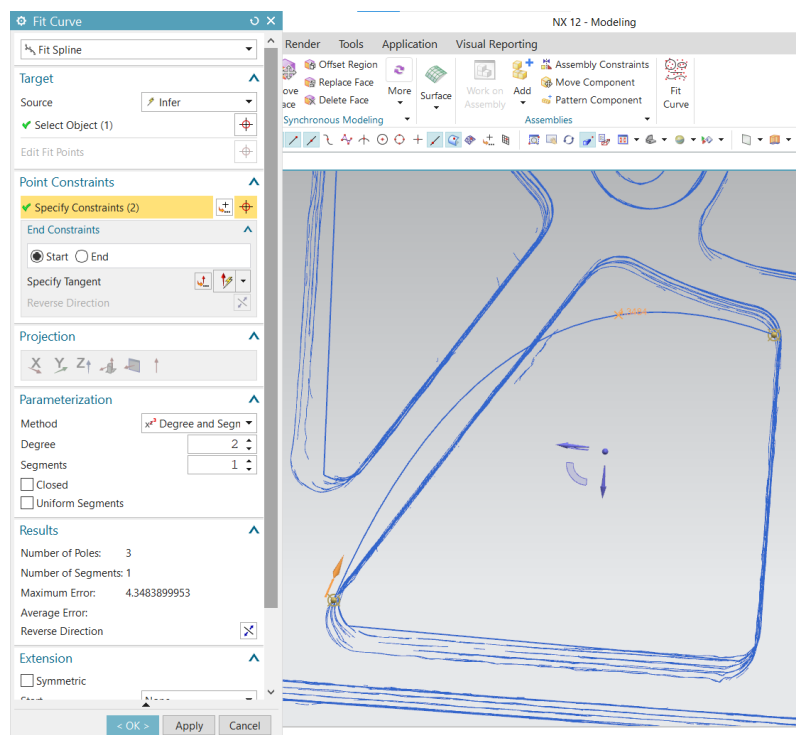
Εικόνα 59: Καμπύλες που θα προσαρμόσουμε με το *fit spline*.

Επιλέγουμε την πρώτη καμπύλη που μας ενδιαφέρει και προσπαθούμε αλλάζοντας τιμές στο degree και segments να κάνουμε μια καλή προσαρμογή.

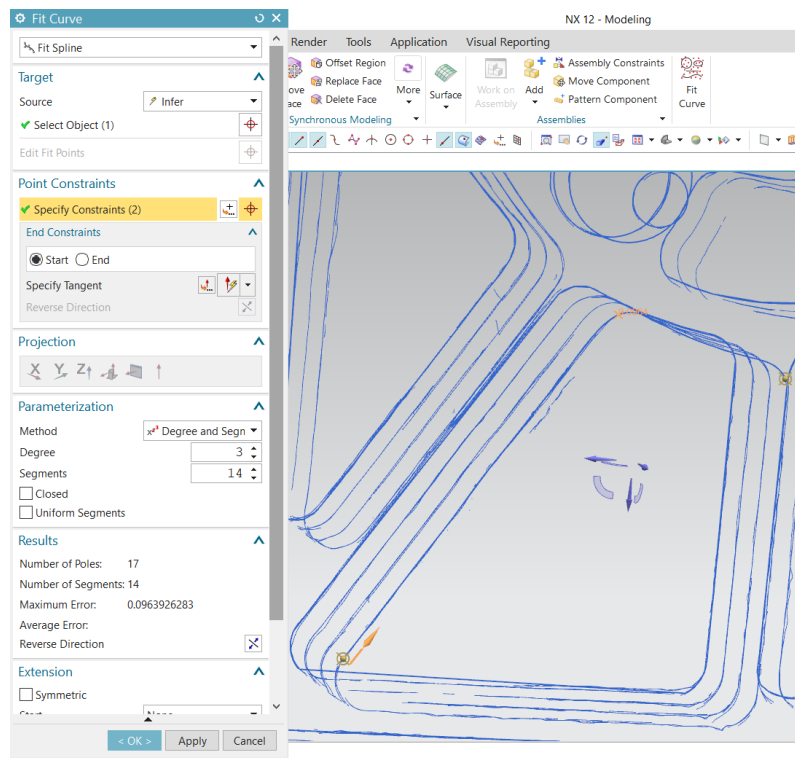


Εικόνα 60: Η καμπύλη που θα δημιουργήσουμε με την εντολή fit spline.

Έχοντας την τιμή του βαθμού degree στο 2 και του segments στο 1 παρατηρούμε μεγάλη απόκλιση της καμπύλης. Με αύξηση της τιμής του degree στο 3 και του segments στο 9 παρατηρούμε μια πολύ καλή προσέγγιση της καμπύλης.

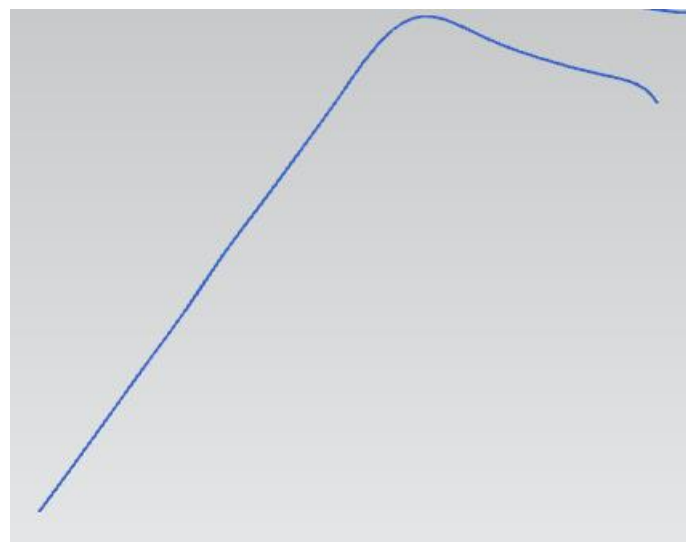


Εικόνα 61: Η καμπύλη βαθμού 2 και τμήματος 1 που δημιούργησε αυτόματα το σύστημα.



Εικόνα 62: Η καμπύλη βαθμού 3 και τμημάτων 9 που δημιούργησε αυτόματα το σύστημα.

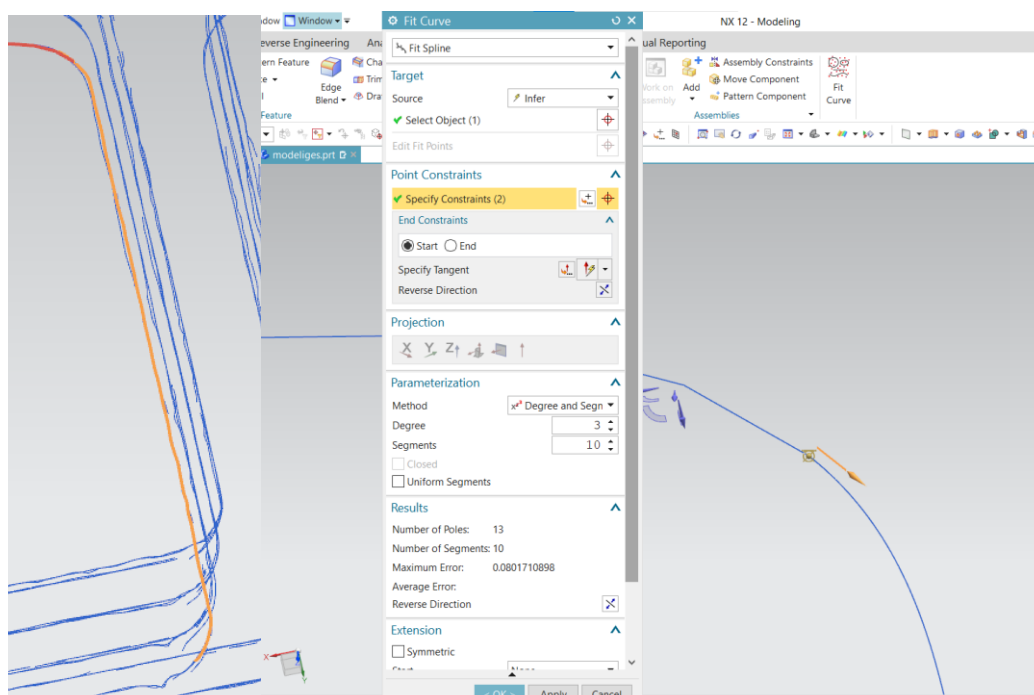
Το αποτέλεσμα της καμπύλης που πήραμε από το σύστημα ήταν πολύ ικανοποιητικό. Το μέγιστο σφάλμα από την καμπύλη στόχο είναι 0.0096 και ο αριθμός σημείων ελέγχου 12.



Εικόνα 63: Η καμπύλη fit curve που μας δημιούργησε το σύστημα.

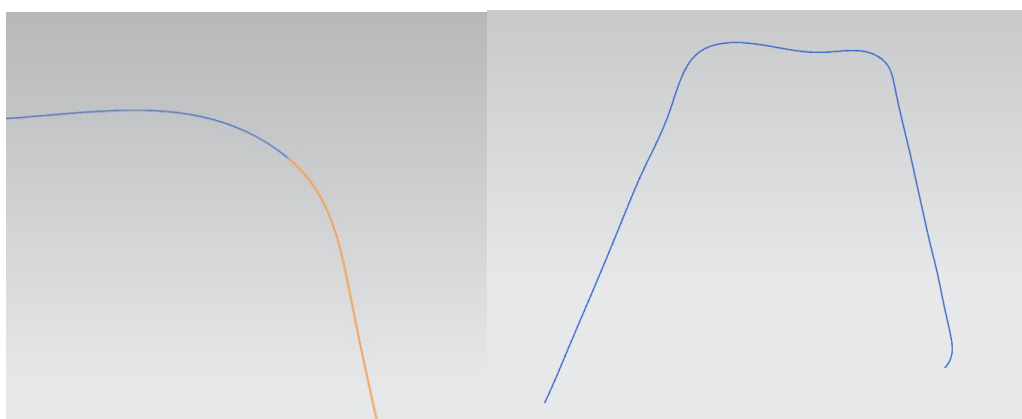
Στη συνέχεια, θέλουμε να ενώσουμε την καμπύλη που κατασκευάσαμε με τη γειτονική της καμπύλη, με όσο μεγαλύτερη συνέπεια στη συνέχεια των καμπυλών αυτών. Για

τη πραγματοποίηση της συνέχειας κατά την ένωση των καμπυλών, πατώντας δεξί κλικ στο ποντίκι μας, επιλέγουμε συνέχεια G1.



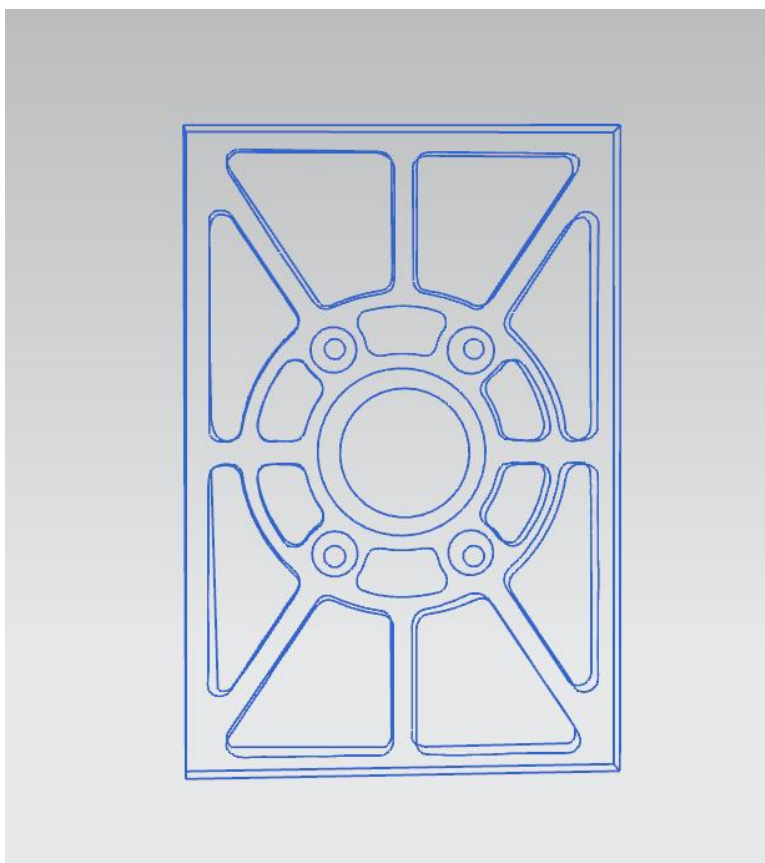
Εικόνα 64: Δημιουργία καμπύλης με το fit spline και ένωση της με συνέχεια G1 με την γειτονική της καμπύλη.

Παρατηρούμε ότι σε τμήμα της καμπύλης πριν την ένωση των δύο καμπυλών έχουμε μια μικρή γωνία που προκαλεί ασυνέχεια της καμπύλης. Μετά την ένωση των καμπυλών με συνέχεια G1, η ασυνέχεια αυτή ομαλοποιήθηκε.



Εικόνα 65: Τελική μορφή της καμπύλης μετά την σύνδεση δύο fit curve καμπυλών με συνέχεια G1.

Τέλος, μετά την εφαρμογή των εργαλείων fit line, fit curve και fit spline που μας δίνει η εντολή του reverse engineering fit curve, παίρνουμε την τελική μορφή του μοντέλου ακμών του αντικειμένου μελέτης που παρουσιάζεται στην (εικόνα 63).



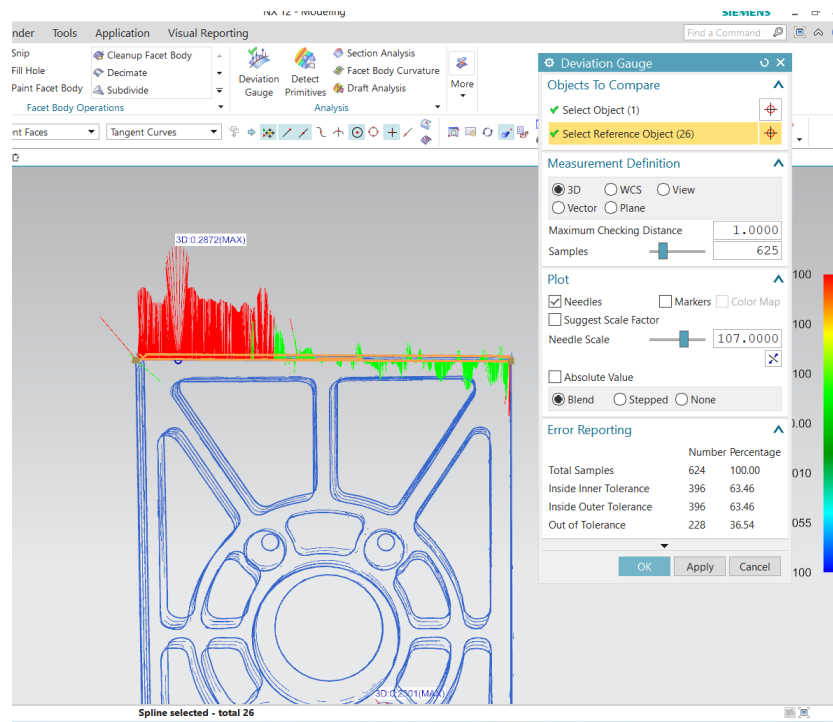
Εικόνα 66: Το μοντέλο ακμών του αντικειμένου μελέτης.

3.1.3 Χρωματική αναπαράσταση των αποκλίσεων με την εντολή Deviation Gauge

Το λογισμικό Siemens NX.12.00 μας βοηθάει, μέσα από την εντολή Deviation Gauge που βρίσκεται στα εργαλεία του Reverse Engineering, να κρίνουμε, εάν το μοντέλο ακμών που δημιουργήσαμε με την εντολή fit curve είναι εντός ανοχών.

Για την συγκεκριμένη εφαρμογή αντίστροφης μηχανικής χρησιμοποιήθηκε ακρίβεια 0.1(mm).

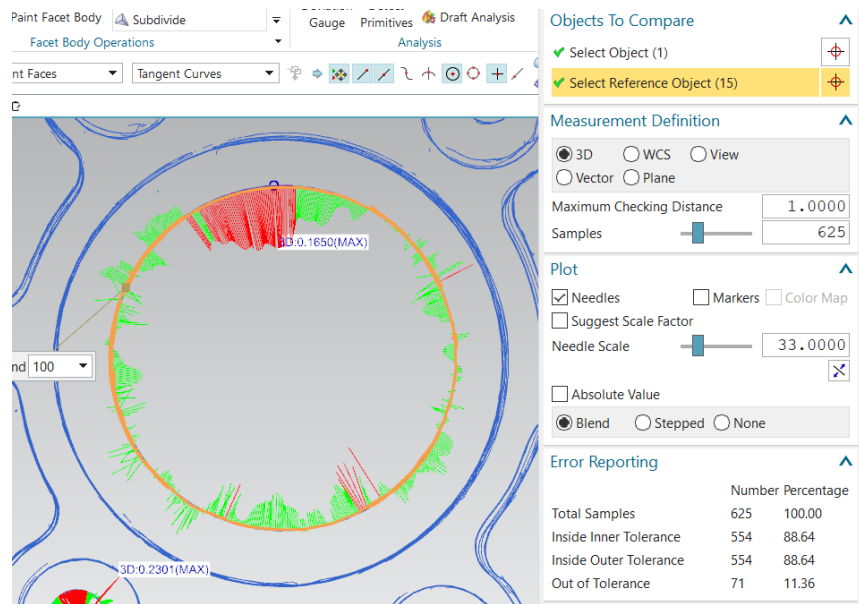
Στην αρχή, μελετήσαμε ένα ευθύγραμμο τμήμα του αντικειμένου μελέτης που δημιουργήθηκε με εντολή fit line.



Εικόνα 67: Χρωματική αναπαράσταση των αποκλίσεων του ευθύγραμμου τμήματος του αντικειμένου μελέτης από τα δεδομένα της σάρωσης.

Παρατηρούμε ότι σε ένα δείγμα 624 σημείων, τα 228 σημεία βρέθηκαν εκτός ανοχών. Συμπεραίνουμε ότι η συγκεκριμένη προσαρμογή του ευθύγραμμου τμήματος δεν είναι αρκετά καλή. Τα περισσότερα σημεία που βρέθηκαν εκτός ανοχών βρίσκονται αριστερά της (εικόνας 64.) Το σφάλμα στη συγκεκριμένη περιοχή πιθανώς έχει δημιουργηθεί είτε από αστοχία στη σάρωση, είτε κατά τη προσαρμογή της καμπύλης με την εντολή fit line.

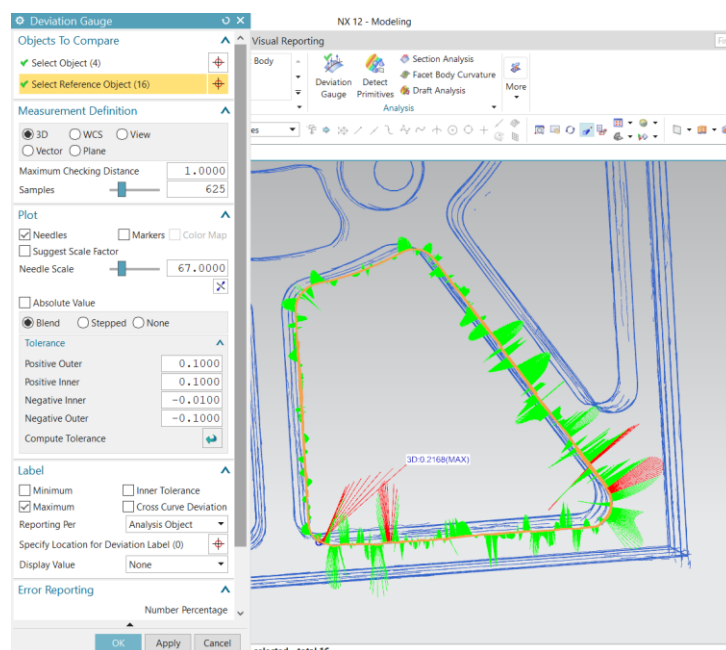
Στη συνέχεια, μελετήσαμε τις ανοχές κατά τη προσαρμογή ενός κύκλου που δημιουργήθηκε με την εντολή fit circle.



Εικόνα 68: Χρωματική αναπαράσταση των αποκλίσεων κύκλου του αντικειμένου μελέτης από τα δεδομένα της σάρωσης.

Παρατηρούμε ότι σε ένα δείγμα 625 σημείων, τα 71 σημεία βρέθηκαν εκτός ανοχών. Συμπεραίνουμε ότι η συγκεκριμένη προσαρμογή του κύκλου είναι καλή. Τα σημεία που βρέθηκαν εκτός ανοχών βρίσκονται με κόκκινο χρώμα στην (εικόνα 65).

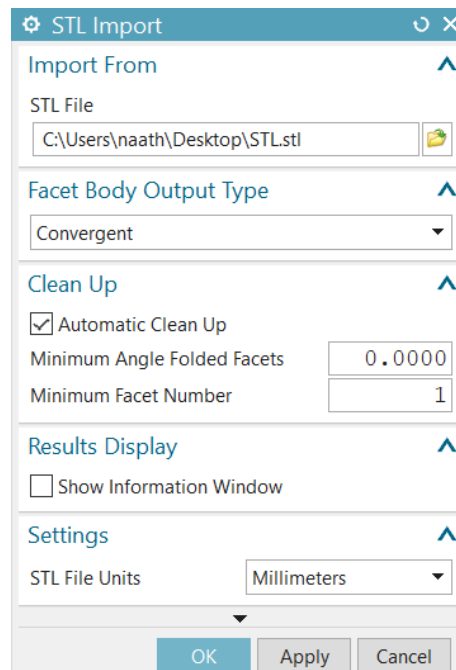
Τέλος θα εφαρμόσουμε την εντολή Deviation Gauge στο κόσμιμο του αντικειμένου που προσεγγίσαμε με το fit spline. Παρατηρούμε μια πολύ ορθή προσέγγιση της καμπύλης στα δεδομένα στόχο της εφαρμογής, καθώς τα περισσότερα σημεία είναι εντός ορίων ανοχών.



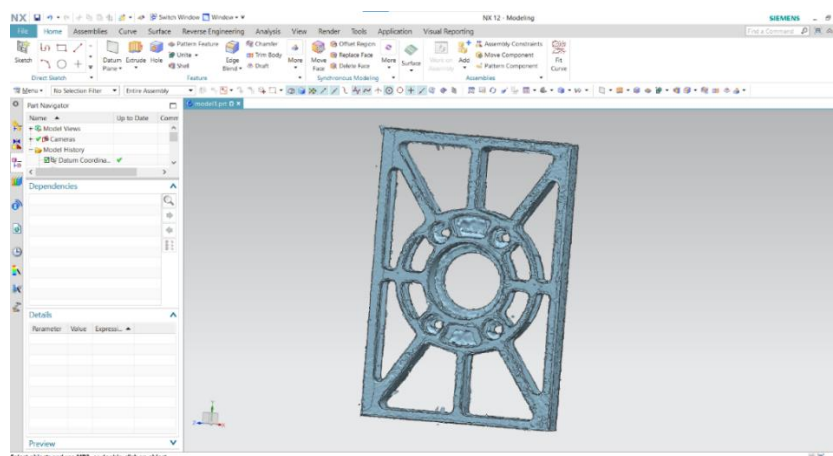
Εικόνα 69: Χρωματική αναπαράσταση των αποκλίσεων καμπύλης του αντικειμένου μελέτης από τα δεδομένα της σάρωσης.

3.2 Επεξεργασία του STL αρχείου του αντικειμένου σάρωσης.

Για να εισάγουμε το αρχείο στο NX επιλέγουμε file→import→STL και επιλέγουμε το αρχείο (.STL) που μας ενδιαφέρει, και στο Faced Body Output Type επιλέγουμε το Converged, τότε στην επιφάνεια εργασίας του λογισμικού μας εμφανίζεται το αντικείμενο που σαρώσαμε ως ένα μοντέλο που απαρτίζεται από 1323 convergent body.



Εικόνα 70: Παράθυρο επιλογών εισαγωγής STL αρχείου.

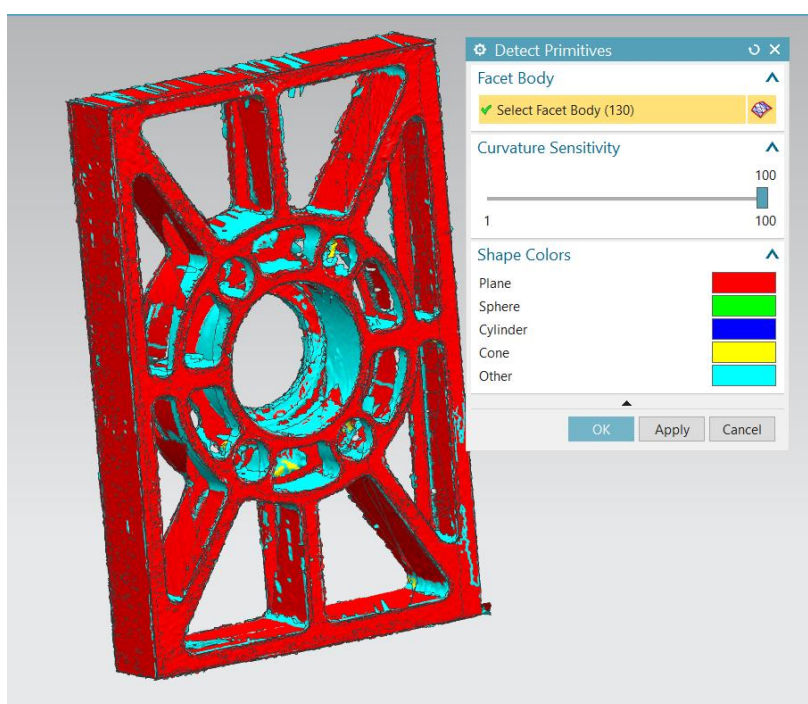


Εικόνα 71: Το μοντέλο του αντικειμένου μετά την εισαγωγή του STL αρχείου.

Στη συνέχεια της εργασίας θα χρησιμοποιηθεί η εντολή detect primitives, με στόχο να παρουσιαστεί η ευκολία και η ταχύτητα που η αντίστροφη μηχανική δίνει αποτελέσματα, καθώς και να σχολιαστεί το αποτέλεσμα αυτό.

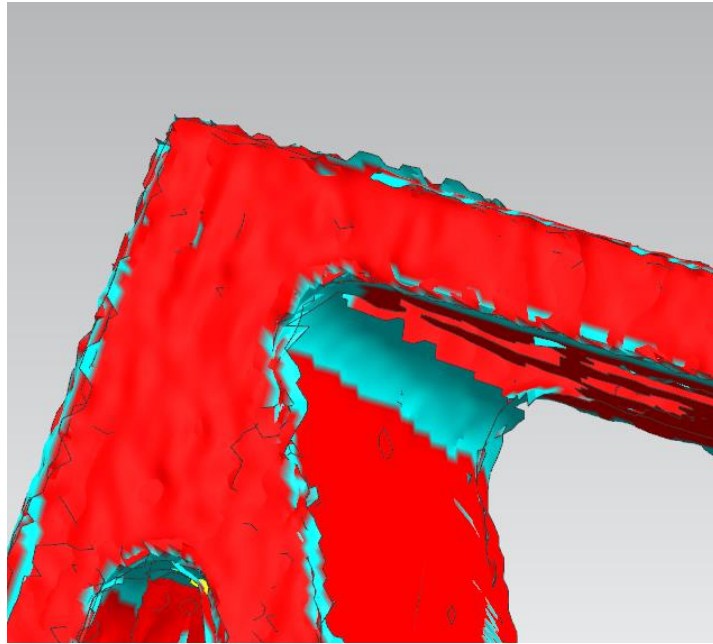
Η εντολή detect primitives, δίνοντας της την ευαισθησία μας δίνει με χρωματική αναπαράσταση τα γεωμετρικά σχήματα που απαρτίζουν το αντικείμενο μελέτης.

Τα αποτελέσματα που μας έδωσε το λογισμικό Siemens NX είναι σε μεγάλο βαθμό σωστά, ακόμα και με την ελάχιστη τιμή ευαισθησίας. Στην (εικόνα 72) παρουσιάζεται η αναγνώριση του αντικειμένου μελέτης υπό την ευαισθησία στο 100%.



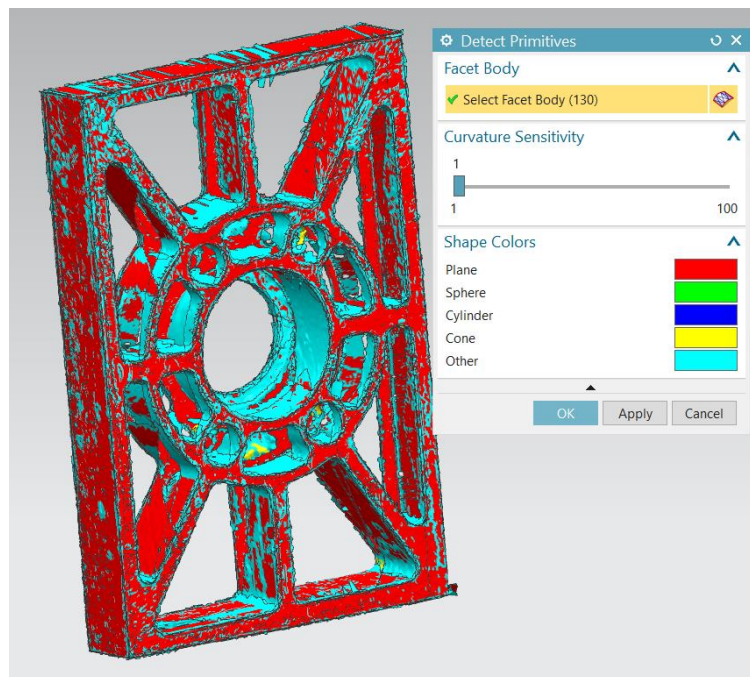
Εικόνα 72: Χρωματική αναπαράσταση των επιφανειών του αντικειμένου μελέτης υπό την ευαισθησία στο 100%.

Παρατηρούμε ότι γίνεται ορθή αναγνώριση των επίπεδων επιφανειών (με κόκκινο χρώμα) του αντικειμένου, εκτός από τις περιοχές που υπάρχουν επιφάνειες που προεξέχουν και προέρχονται από την επεξεργασία του αντικειμένου στο λογισμικό του σαρωτή SCANSTUDIOHD. Επίσης, παρατηρούμε την αναγνώριση δύσκολων κοίλων επιφανειών, όπως το κόψιμο της (εικόνας 73).



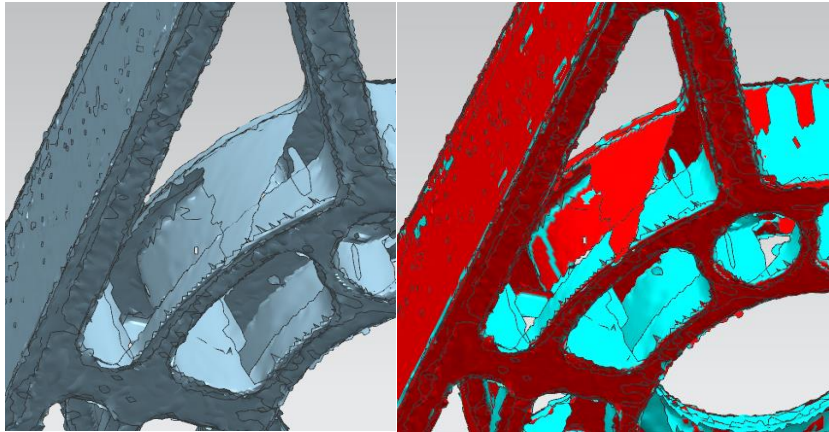
Εικόνα 73: Αναγνώριση κοίλης επιφάνειας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εντολή detect primitives έκανε σωστή αναγνώριση επιφανειών, ακόμα και με την ευαισθησία στο 1%. Το γεγονός αυτό τονίζει την αξιοπιστία της μεθόδου, αλλά και του λογισμικού.



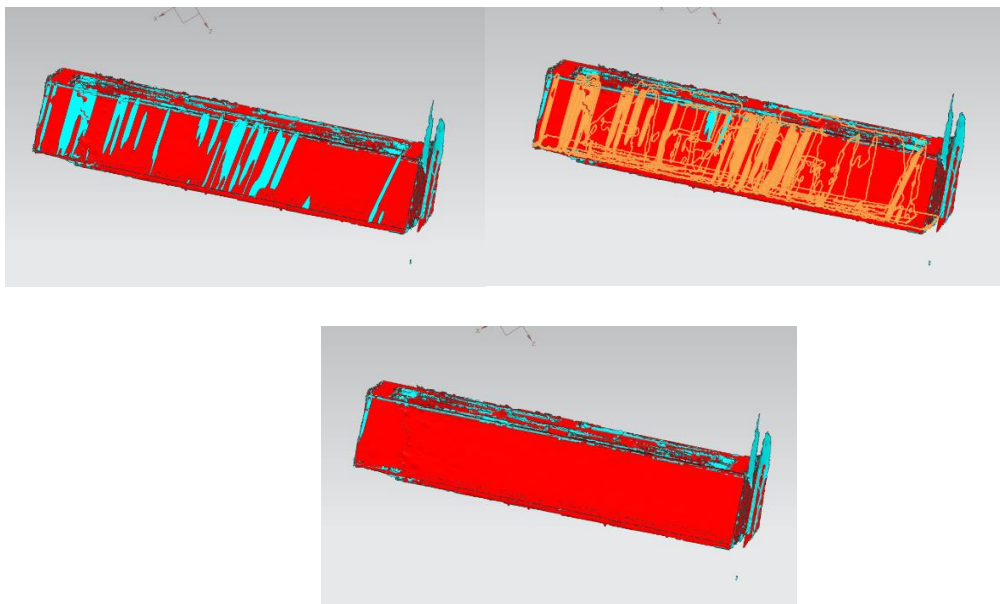
Εικόνα 74: Χρωματική αναπαράσταση των επιφανειών του αντικειμένου μελέτης υπό την ευαισθησία στο 1%.

Τέλος, παρατηρούμε ότι η μη αναγνώριση ορισμένων περιοχών του αντικειμένου μελέτης γίνεται λόγω ελλείψεων δεδομένων του πολυγωνικού μοντέλου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η έλλειψη της επιφάνειας στην (εικόνα 75) και η μη αναγνώρισή της από το σύστημα.



Εικόνα 75: Λανθασμένη αναγνώριση επίπεδης επιφάνειας.

Η εντολή detect primitives μπορεί να μας βοηθήσει να δούμε περιττές επιφάνειες του αντικειμένου μελέτης, τις οποίες μπορούμε να διαγράψουμε, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των converged bodies του αντικειμένου.



Εικόνα 76: Διαγραφή επιφανειών που δεν χρειαζόμαστε.

Κεφάλαιο 4 – Σύνοψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσεται η έννοια της Αντίστροφης Μηχανικής. Αναλυτικότερα σκοπός της εργασίας είναι η σάρωση πρισματικού, μεταλλικού αντικειμένου και η εξαγωγή αρχείων τύπου IGES και STL από το λογισμικό του σαρωτή NextEngine 3D scanner. Τα αρχεία αυτά εισάγονται στο σύστημα CAD-CAM Siemens NX 12.00, με σκοπό να μελετήσουμε εάν το λογισμικό αυτό είναι κατάλληλο για τη συγκεκριμένη διαδικασία.

Στην εισαγωγή της εργασίας, αναλύονται οι έννοιες των συστημάτων CAD-CAM-CAE και της Αντίστροφης Μηχανικής. Στη συνέχεια γίνεται μια εισαγωγή για το πρόβλημα της ανταλλαγής δεδομένων των συστημάτων αυτών, καθώς και των μεταφραστών που έλυσαν το πρόβλημα αυτό. Τέλος αναλύεται η χρήση των μοντέλων πλέγματος-ακμών και οι καμπύλες ελεύθερης μορφής.

Στο κεφάλαιο 2 της εργασίας γίνεται παρουσίαση του σαρωτή που χρησιμοποιήθηκε για την σάρωση του πρισματικού αντικειμένου καθώς και η διαδικασία της σάρωσης-επεξεργασίας των σαρώσεων με το λογισμικό που παρέχεται με τον σαρωτή ScanStudioHD. Η διαδικασία της σάρωσης καθώς και η επεξεργασία των σαρώσεων αποτελεί μια σχετικά απλή διαδικασία καθώς ο σαρωτής και το λογισμικό του είναι αρκετά εύχρηστο και φιλικό προς τον χρήστη.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται παρουσίαση των εργαλείων που προσφέρει η καρτέλα της αντίστροφης μηχανικής του συστήματος CAD-CAM Siemens NX 12.00. Έπειτα γίνεται εισαγωγή των αρχείων τύπου IGES και STL στο λογισμικό και χρησιμοποιούνται τα εργαλεία της αντίστροφης μηχανικής με σκοπό τη δημιουργία του μοντέλου ακμών στη περίπτωση του αρχείου IGES και την αναγνώριση των επιφανειών του STL αρχείου. Εδώ παρατηρείται η δυσκολία της αναγνώρισης των επιφανειών στα κοίλα σημεία και στις οπές του αντικειμένου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η Αντίστροφη μηχανική αποτελεί μια προηγμένη μέθοδο σχεδιασμού, όπου τα προτερήματα της δημιουργούν την ανάγκη εξέλιξης της τεχνολογίας αυτής.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αγγελόπουλος, Ν., 2012, *Διαδικασία τρισδιάστατης σάρωσης και επεξεργασίας δεδομένων σε ειδικό λογισμικό*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Τσιμπουράκης-Παυλάκης Γεώργιος, Αντίστροφη μηχανική του προγράμματος Siemens NX 11.00, Διπλωματική Εργασία, 2019, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Καραγιαννίδης Γεώργιος, Αντίστροφη Μηχανική-To NextEngine 3D Scanner, Διπλωματική Εργασία, 2013, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης

Γιώτης Ν., 2004, *Τρισδιάστατη αντιγραφή και ψηφιακή μοντελοποίηση αντικειμένου με τη χρήση συστήματος τρισδιάστατης σάρωσης και λογισμικού (Αντίστροφη σχεδίαση και ψηφιοποίηση)*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Μπιλάλης, Ν. & Μαραβελάκης, Ε., 2020, Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση, 3η έκδοση, εκδόσεις Κριτική, Αθήνα.

Διαδικτυακή Βιβλιογραφία

<http://www.cadlab.tuc.gr/cad.htm>

https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/nx/11/nx_help/#uid:index

<http://www.mdc.umn.edu/facility/files/electrical/Elec%20Manuals/3D%20Scanner%20User%20Manual.pdf>