



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

**Μια προσέγγιση δημιουργίας παραμετρικού στερεού μοντέλου  
από νέφος σημείων.**

An approach of creating parametric solid models from scanned  
point cloud.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
**ΗΛΕΚΤΡΑ Ν. ΜΑΡΑΖΑΚΗ**

**Επιβλέπων Καθηγητής : Νικόλαος Μπιλάλης**

Χανιά, 2014



(Υπογραφή)

.....

**Ηλέκτρα Ν. Μαραζάκη**

Διπλωματούχος Μηχανικός Παραγωγής και Διοίκησης Πολυτεχνείου Κρήτης

Copyright © Ηλέκτρα Μαραζάκη, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω κ. Νικόλαο Μπιλάλη, επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, για την καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας, μέχρι την τελική φάση της δημιουργίας της. Επιπροσθέτως, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Παύλο Κουλουριδάκη για την άμεση βοήθεια του στη διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας και την καθοδήγησή του πάνω σε ζητήματα που προέκυψαν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα αδέρφια μου, Φαίδρα, Μάρα και Μύρων Μαραζάκη, τις φίλες μου, καθώς επίσης και την κ. Ελένη Κοκονά, για την αμέριστη κατανόηση και συμπαράσταση που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της φοίτησης μου στη σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω τη διπλωματική μου εργασία στον πατέρα μου Νικόλαο Μαραζάκη και στη Μητέρα μου Μαρία- Ισμήνη Σαρτόρι Μαραζάκη, οι οποίοι μου έμαθαν να προσπαθώ για την επίτευξη των στόχων μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι ο παραμετρικός ανασχηματισμός φυσικών τρισδιάστατων αντικειμένων, με τη χρήση μεθόδων Αντίστροφης Μηχανικής (Reverse Engineering), με σκοπό την επακριβή ανοικοδόμηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους και την αξιοποίησή τους από τον χρήστη με τη βοήθεια τρισδιάστατων πακέτων λογισμικού (CAD). Παρά το γεγονός ότι, η διαδικασία μετατροπής σημειακών δεδομένων σε μοντέλα NURB επιφανειών έχει αυτοματοποιηθεί, η δημιουργία παραμετρικών στερεών μοντέλων από σημειακά δεδομένα δεν μπορεί να γίνει πλήρως αυτοματοποιημένα. Αυτό συμβαίνει επειδή, παρά τις τεχνικές προκλήσεις που προκύπτουν στην εκτέλεση, η πρότυπη σχεδιαστική πρόθεση που ενσωματώνεται στα σημειακά δεδομένα, θα πρέπει να ανακτηθεί και να πραγματοποιηθεί στο παραμετρικό στερεό μοντέλο.

Αποφάσεις μοντελοποίησης θα πρέπει να ληφθούν από τον ίδιο τον σχεδιαστή, προκειμένου να ανακτηθούν οι πρότυπες σχεδιαστικές προθέσεις. Ωστόσο, οι σχεδιαστές θα πρέπει να απαλλαχθούν από το χρονοβόρο χειρισμό τεράστιων σε πλήθος σημειακών δεδομένων και την κατασκευή πρωτόγονων γεωμετρικών οντοτήτων. Ως εκ τούτου, το ιδανικό σενάριο εμπεριέχει εργαλεία λογισμικού τα οποία θα διευθετούν αυτοματοποιημένα τις χρονοβόρες εργασίες, όπως τη διαχείριση του νέφους σημείων, τη διαδικασία τριγωνοποίησης, κλπ., και θα προσφέρουν εξαιρετικές δυνατότητες ώστε να μπορέσει ο σχεδιαστής να ανακτήσει πλήρως, με διαδραστικές μεθόδους τις προθέσεις του σχεδιασμού.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει την επιλογή και την τρισδιάστατη σάρωση αντικειμένων, την απόκτηση του σύννεφου σημείων και την βελτιστοποίηση των σημειακών δεδομένων με τη βοήθεια του Next Engine Scanner και του προγράμματος ScanStudio HD. Στη συνέχεια, η περαιτέρω επεξεργασία του πολυγωνικού πλέγματος εφαρμόστηκε μέσω του προγράμματος Geomagic Studio 12 και τέλος διεκπεραιώθηκε η εξαγωγή των δεδομένων σε ένα πρόγραμμα CAD, με σκοπό τη δημιουργία ενός στερεού παραμετρικού μοντέλου μέσω της παραμετρικής ανταλλαγής του σε τρισδιάστατο πρόγραμμα CAD - Solidworks.

Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την ενσωμάτωση της πρόθεσης του σχεδιασμού του αντικειμένου του σχεδιαστή στη διαδικασία μετάβασης από ένα υφιστάμενο φυσικό αντικείμενο σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα επεξεργάσιμο και επαληθεύσιμο μοντέλο με βάση τα πρότυπα χαρακτηριστικά του. Αυτή η διαδικασία παράγει ένα πλήρες εγγενή μοντέλο CAD που συλλαμβάνει τόσο το αρχικό σχήμα του αντικειμένου όσο και την πρόθεση του σχεδιασμού του σχεδιαστή.

## ABSTRACT

The aim of this thesis is the parametric reconfiguration of natural three-dimensional objects, using reverse engineering methods, in order to accurately reconstruct the geometric characteristics of an object so the user could exploit data with the help of three-dimensional software packages (CAD). Despite the fact that the process of converting point data into models of NURB surfaces has been automated, the creation of parametric solid models from point data can't be fully automated. This is because, despite the technical challenges that arise in the implementation, the standard design intent embodied in the point data should be recovered and held in parametric solid model.

Modeling decisions should be taken by the designer in order to recover the standard design intentions. However, designers should be relieved from the time-consuming handling of huge numbers of point data and the construction of primitive geometric entities. Therefore, the ideal scenario involves software tools which will settle the automated time-consuming tasks, such as managing the cloud points, the triangulation process, etc., and offer exceptional opportunities to enable the designer to fully recover, using interactive methods the initial design intent.

The procedure followed, involves the selection and scanning of three dimensional objects, the cloud point acquisition procedure and the optimization of data points using the Next Engine Scanner and the Scan-Studio HD program. Moreover, further processing of the polygonal mesh is implemented through the Geomagic Studio 12 program and exported in a CAD program, to create a parametric solid model by parametric exchange program of three-dimensional CAD software (SolidWorks).

This process has resulted in the integration of the design intent of the object, in the process of transition from an existing physical object in a three dimensional digital model, in order to create an editable and verifiable model based on standard features. This process produces a complete native CAD model that captures both the original shape of the object and the design intent of the designer.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ABSTRACT .....	7
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	12
1.1 Ιστορική αναδρομή Αντίστροφης Μηχανικής .....	12
1.2 Συμβολή αντίστροφης μηχανικής στη φάση της σχεδίασης .....	15
1.2.1 Λόγοι χρήσης της αντίστροφης μηχανικής .....	16
1.3 Σχεδιαστική Συνοχή – «Design Continuum» .....	18
1.3.1 Μοντέλο Απλής Απεικόνισης και εφαρμογές .....	21
1.3.2 Παραμετρικά μοντέλα Αντίστροφης Μηχανικής .....	22
1.4 Ροή εργασίας - Από τα δεδομένα σάρωσης προς τη σχεδιαστική πρόθεση .....	23
1.4.1 Λογισμικό επεξεργασίας σημείων .....	24
1.4.1.1 Λογισμικό πρώτης γενιάς .....	24
1.4.1.2 Λογισμικό δεύτερης γενιάς .....	24
1.4.1.3 Λογισμικό τρίτης γενιάς .....	26
1.5 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας .....	29
1.6 Ορισμός Τρισδιάστατης Ψηφιοποίησης .....	30
1.7 Βασικά χαρακτηριστικά της αντίστροφης μηχανικής .....	31
1.7.1 Η συλλογή των δεδομένων .....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ .....	37
2.1 Σχεδιαστική παραμετροποίηση .....	38
2.2 Σχηματική Μηχανική .....	39
2.3 Τριγωνοποίηση .....	40
2.4 Διακριτοποίηση .....	41
2.5 Στερεά Μοντελοποίηση .....	43
2.6 Συνοριακή Αναπαράσταση .....	44
2.7 Αναγνώριση Στερεών Χαρακτηριστικών .....	44
2.8 Σχεδίαση -Παραμετροποίηση .....	46
2.9 Εξαγωγή Στερεού Μοντέλου .....	47
2.10 Λογισμικό .....	47
2.11 Παραδείγματα Αξιολογήσεων .....	50
2.12 Πρώτος κύκλος αυτόματης εφαρμογή επιφανειών .....	51
2.12.1 Geomagic Studio .....	53
2.12.2 Rapidform XOR3 .....	55
2.12.3 Συνοπτική παρουσίαση του πρώτου γύρου αξιολογήσεων .....	58
2.13 Δεύτερος κύκλος παραμετρικής στερεάς μοντελοποίησης .....	59
2.13.1 Geomagic Studio V.11 .....	60

2.14 Στερεά εξαγωγή μοντέλου .....	63
2.14.1 Παραμετρική Ανταλλαγή Geomagic.....	63
2.14.2 liveTransfer <sup>TM</sup> ενότητα Rapidform XOR3.....	63
2.15 Συμπεράσματα σχετικά με τη λειτουργία λογισμικών .....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ .....	65
3.1 Geomagic Studio - Παραμετρική Ανταλλαγή .....	65
3.1.1 Τύποι αρχείων που μπορούν να εξαχθούν σε CAD .....	65
3.1.2 Οδηγός Περιγραφής .....	66
3.1.3 Προϋποθέσεις λειτουργίας .....	66
3.1.4 Ροή διαδικασίας.....	67
3.1.5 Μεταφορά στο SolidWorks.....	70
3.1.5 Αλλαγές Σχεδίασης σε ένα παραμετρικό μοντέλο .....	75
3.1.6 Μεταφορά αντικειμένου στο Geomagic Studio .....	75
3.2 Διερεύνηση της διαδικασίας τρισδιάστατης σάρωσης αντικειμένων .....	78
3.2.1 Αντικείμενα που μελετήθηκαν .....	80
3.2.2 Μελέτη και ανάλυση κύβου Rubik's cube.....	81
3.3 Προετοιμασία σαρωτή και αντικειμένου σάρωσης .....	82
3.3.1 Περιγραφή διαδικασίας σάρωσης .....	83
3.4 Συμπεράσματα κατά τη διάρκεια της σάρωσης .....	91
3.5 Μελέτη αποτελεσμάτων σάρωσης υπολοίπων αντικειμένων .....	92
3.5.1 Σάρωση Χάρτινου Κουτιού.....	92
3.5.2 Σάρωση Μεταλλικού κυλίνδρου .....	93
3.5.3 Σάρωση μεταλλικού κυλινδρικού αντικειμένου με οπή.....	94
3.5.4 Σάρωση ξύλινου πλαισίου με οπές.....	95
3.6 Παραμετρική μεταφορά του Rubik's cube.....	96
3.6.1 Μεταφορά στο Geomagic Studio V.12 .....	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	99
4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ ...	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	105
5.1 Προτεινόμενα video .....	107

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1 Η ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΡΟΟΔΟΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ .....	13
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΟΧΗ- "DESIGN CONTINUUM" .....	19
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΤΥΜΠΑΝΟ ΦΡΕΝΟΥ ΑΡΙΣΤΕΡΑ, ΤΟΥΡΤΑ ΓΕΝΕΘΛΙΩΝ ΔΕΞΙΑ, ΟΜΟΙΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΘΕΣΗ.....	20
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΩΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ. ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ- ΤΟΜΕΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ- NURB ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ .....	24
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ - ΠΟΛΥΓΩΝΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ - NURB ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ .....	25
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΑΡΩΣΗΣ.....	26
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ ΧΕΙΡΟΣ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ.....	32
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ NURB.....	35
Εικόνα 11 (α) Nurbs επιφανειακό μοντέλο γυναίκευ σώματος (β) κατασκευή καμπύλων - εγκάρσιων τομών (γ) δημιουργία πολυγωνικού μοντέλου .....	36
Εικόνα 12 Ανάπτυγμα μηχανικής μονού πιστονίου (α) διάμετρος οπής 30.5 mm (β) νέα διάμετρος οπής 40.6 mm .....	39
Εικόνα 13 Διαδικασία σχηματικής μηχανικής .....	40
Εικόνα 14 Δείγμα εργασιών τριγωνοποίησης και σκαναρίσματος (α) Μιχαήλ- Άντζελο στη Φλωρεντία, Πιετά (β) Καθεδρικός ναός (γ) δομή κεφαλιού και εγκέφαλου .....	41
Εικόνα 15 Παράδειγμα πλεγματικής διακριτοποίησης (α) αντικείμενο διακριτοποιημένο σε πολλές μικρές Περιοχές εξαιτίας του κατωφλιού ευαισθησίας (β) Περιοχές καθορισμένες με χαμηλό κατώφλι ευαισθησίας.....	42
Εικόνα 16 Η ιεραρχία των επιφανειών .....	43
Εικόνα 17 Εικονογράφηση του αλγορίθμου GFR (α) εισάγεται το μοντέλο επιφανείας με την επιφάνεια της τρυπάς επιλεγμένη (β) η τρυπά αναγνωρίζεται και αφαιρείται, επιλέγεται η διέλαση της όψης του κυλίνδρου (γ) αναγνώριση της εξώθησης του κυλίνδρου .....	45
Εικόνα 18 Χαρακτηριστικό της αναγνώρισης της φλάντζας των σωληνώσεων του αεροπλάνου (α) ενιαίο περιστροφικό χαρακτηριστικό (β) χαρακτηριστικά : εξώθηση, περιστροφή, τομή, και προσθήκη φιλέτων.....	46
Εικόνα 19 Αποτελέσματα παραδείγματος του μπλοκ με τη χρήση Geomagic (α) μοντέλο σημείου θόλωσης (β) πολυγωνικό πλέγμα (γ) μοντέλα Nurbs επιφάνειας (δ) ανάλυση απόκλισης.....	54
Εικόνα 20 Αποτελέσματα παραδείγματος σωλήνωσης δοκιμάζονται χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Geomagic (α) πλεγματικά πολυγωνα (β) μοντέλο Nurbs (γ) ανάλυση απόκλισης .....	54
Εικόνα 21 Αποτελέσματα του μεταλλικού φύλλου με τη χρήση του Geomagic (α) πλέγμα πολυγώνων (β) το μοντέλο Nurbs (γ) ανάλυση απόκλισης.....	55
Εικόνα 22 Μοντέλα επιφανειών Nurbs δημιουργούνται χρησιμοποιώντας δυο διαφορετικές επιλογές Rapidform (α) επιλογή ομοιόμορφου συστήματος (β) επιλογή συστήματος με βάση την ακολουθία χαρακτηριστικών .....	55
Εικόνα 23 Τα αποτελέσματα του παραδείγματος του μπλοκ δοκιμάζονται χρησιμοποιώντας το Rapidform (α) πλέγμα πολυγώνων (β) μοντέλο επιφανείας Nurbs (γ) ανάλυση απόκλισης.....	56
Εικόνα 24 Ελλιπές μοντέλο επιφάνειας Nurbs που δημιουργήθηκε από το Rapidform.....	57
Εικόνα 25 Αποτελέσματα του παραδείγματος της σωλήνωσης δοκιμάζονται χρησιμοποιώντας το Rapidform (α) πολυγωνικό πλέγμα (β) NURBS επιφανειακό μοντέλο (γ) ανάλυση απόκλισης .....	57
Εικόνα 26 Στενές περιοχές, αποτυγχάνουν αναφορικά με την επιφανειακή αυτοματοποίηση χρησιμοποιώντας το Rapidform .....	58
Εικόνα 27 Τα αποτελέσματα για το παράδειγμα του μεταλλικού φύλλου δοκιμάστηκε χρησιμοποιώντας το Rapidform (α) πολυγωνικό πλέγμα (β) το μοντέλο επιφάνειας Nurbs (γ) ανάλυση απόκλισης.....	58
Εικόνα 28 Ικανότητες στερεάς μοντελοποίησης για διάφορα λογισμικά προγράμματα .....	60

Εικόνα 29 Πρωτόγονες επιφάνειες που αναγνωρίζονται από το Geomagic (α) αναγνωρισμένες περιοχές (β) εξάγονται πρότυπες επιφάνειες στο SolidWorks .....	61
Εικόνα 30 Τμήμα αεροσκάφους - fashion επιφάνειες .....	68
Εικόνα 31 Fashion επιφάνειες .....	69
Εικόνα 32 Δημιουργία πρώτης εξώθησης .....	71
Εικόνα 33 Ορισμός ύψους εξώθησης .....	71
Εικόνα 34 Εντολή " Cut with surface" .....	72
Εικόνα 35 Αποτέλεσμα εντολής "Cut with surfaces" .....	72
Εικόνα 36 Τομές με σκοπό τη δημιουργία επιφανειών .....	73
Εικόνα 37 Αφαίρεση επιπρόσθετου υλικού .....	73
Εικόνα 38 Δημιουργία όγκου αντικειμένου .....	74
Εικόνα 39 Διαδικασία "Booleanization" .....	74
Εικόνα 40 Ανάλυση απόκλισης - "Deviation analysis" .....	76
Εικόνα 41 Εντολή "Exact surfaces" .....	77
Εικόνα 42 Εντολή " Parametric surfaces" .....	77
Εικόνα 43 Εντολή "Exact surfacing" .....	77
Εικόνα 44 Σαρωτής NextEngine Scanner .....	78
Εικόνα 45 Το προς εξέταση αντικείμενο χωρίς πούδρα - Rubik's cube .....	82
Εικόνα 46 Πριν και μετά την εφαρμογή πούδρας στο αντικείμενο Rubik's Cube .....	83
Εικόνα 47 Ομάδα Σαρώσεων Rubik's cube .....	86
Εικόνα 48 Οικογένεια σαρώσεων πριν την εφαρμογή της εντολής "Trim" .....	87
Εικόνα 49 Αφαίρεση περιττής γεωμετρίας .....	88
Εικόνα 50 Ευθυγράμμιση σαρώσεων με χρήση κουκίδων .....	89
Εικόνα 51 Τελικό αποτέλεσμα ένωσης των επιμέρους σαρώσεων .....	90
Εικόνα 52 Διαφορετικός τρόπος αναπαράστασης του τελικού αποτελέσματος .....	91
Εικόνα 53 Χάρτινο κουτί από διαφορετικές οπτικές γωνίες .....	92
Εικόνα 54 Διαδικασία σάρωσης χάρτινου κουτιού .....	93
Εικόνα 55 Μεταλλικός κύβος από διαφορετικές όψεις .....	93
Εικόνα 56 Μεταλλικός διπλός κύλινδρος μετά την εφαρμογή πούδρας από διαφορετικές όψεις .....	94
Εικόνα 57 Παρουσίαση αποτελεσμάτων της διαδικασίας στο πρόγραμμα Scanstudio HD .....	95
Εικόνα 58 Παρουσίαση ξύλινου αντικειμένου με οπές κατά τη διαδικασία της σάρωσης του, πριν και μετά την εφαρμογή πούδρας .....	95
Εικόνα 59 Αποτελέσματα ψηφιοποίησης του ξύλινου παραλληλόγραμμου με οπές .....	96
Εικόνα 60 Καμπύλες περιγράμματος αντικειμένου .....	97
Εικόνα 61 Επεξεργασία καμπύλων .....	97
Εικόνα 62 Κατάταξη περιφερειών .....	97
Εικόνα 63 Δημιουργία επιφανειών .....	98
Εικόνα 64 Εντολή «Mesh Doctor», η μπάρα εντολών του Geomagic Studio .....	100
Εικόνα 65 Μελέτη Rubik's cube στο Geomagic Studio .....	100
Εικόνα 66 Πλαίσιο εντολών «Mesh Doctor» .....	101
Εικόνα 67 Εμφάνιση αποτελεσμάτων «Mesh Doctor» .....	101
Εικόνα 68 Μοντέλο πριν την εφαρμογή της εντολής «Rewrap» .....	102
Εικόνα 69 Διαδικασία εκτέλεσης της εντολής «Exact Surfaces», πριν και μετά .....	103

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Ιστορική αναδρομή Αντίστροφης Μηχανικής

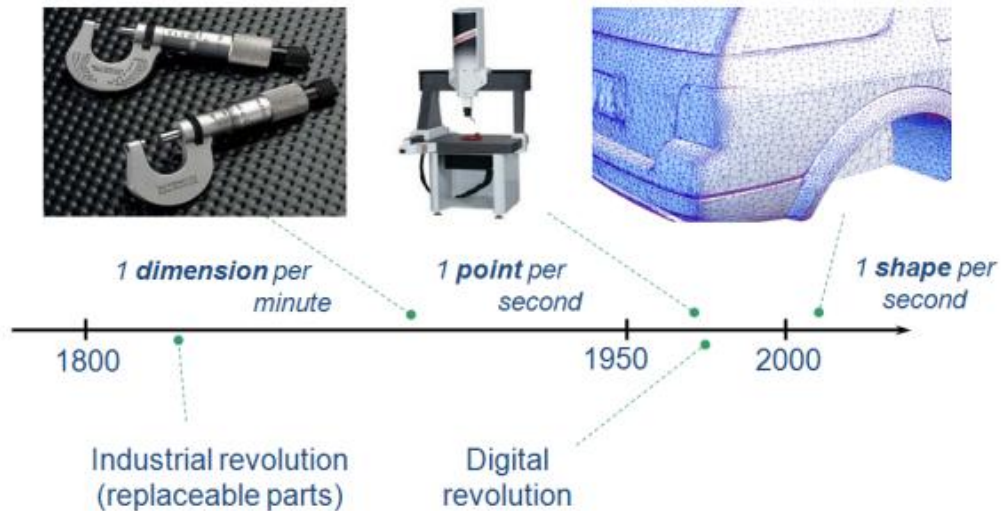
Στο τέλος του 20ο αιώνα, η βιομηχανική κοινότητα κατείχε στα χέρια της ένα νέο εργαλείο για τη μέτρηση διαστάσεων, το δομημένο φως. Αυτή η τεχνολογία είχε εισχωρήσει στο εμπόριο και δημιούργησε μια κατηγορία οργάνων μέτρησης, τα οποία κοινώς ονομάζονται τρισδιάστατοι σαρωτές ή ψηφιοποιητές (3d ή 3-Dimension scanners / Digitizers), οι οποίοι συγκεντρώνουν πολλά διακριτικά σημεία από την επιφάνεια των προς σάρωση αντικειμένων με σκοπό την απεικόνιση του φυσικού μοντέλου σε τρισδιάστατα προγράμματα. Το σύνολο των πολλαπλών αυτών μετρήσεων, περιγράφει το εκάστοτε σχήμα του αντικειμένου από όπου μπορούν να εξαχθούν ποικίλες διαστάσεις. Ωστόσο, η επεξεργασία αυτής της πληθώρας των δεδομένων απαιτούσε νέες μεθόδους και καινοτόμες τεχνολογίες ώστε να μπορούν εύκολα να μετατραπούν σε χρήσιμα.

Κατά την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης του 19ου αιώνα, έως και σήμερα, με τη βοήθεια συγχρόνων τεχνολογικών μέσων, καθίσταται πλέον ικανή η σύλληψη πλήρων σχημάτων, αποτελούμενων από εκατομμύρια διαστάσεις, σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο, ενώ στις απαρχές αυτών των τεχνολογιών, η σύλληψη μίας μονάχα διάστασης απαιτούσε αρκετά λεπτά. Ο Scott Ackerson, ιδρυτής γνωστής εταιρίας μέτρησης με εξοπλισμούς λέιζερ, παρατήρησε ότι η ταχύτητα με την οποία γίνονται οι μετρήσεις έχει αυξηθεί ραγδαία με την πάροδο του χρόνου.

Είναι όμως γεγονός ότι απαιτούνται παράλληλα, εξειδικευμένα εργαλεία λογισμικού, έτσι ώστε να μπορεί ο χρήστης να χειριστεί αυτή την πληθώρα δεδομένων με σκοπό τη περεταίρω δημιουργία χρήσιμων για αυτόν πληροφοριών. Συνεπώς, όπως και οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές επωφελούνται από το «ψηφιακό σκοτεινό δωμάτιο - digital dark room», αλλά και από ποικίλα προγράμματα επεξεργασίας όπως είναι το Adobe Photoshop, έτσι και οι τρισδιάστατοι ψηφιοποιητές (3D scanners) χρειάζονται το δικό τους λογισμικό, το οποίο να δέχεται δεδομένα από τις συσκευές μετρήσεων, των οποίων η δυναμική κυμαίνεται από εργαλεία μέτρησης μίας διάστασης, σε όργανα μέτρησης πλήρους κάλυψης. Τα συγκεκριμένα εργαλεία λογισμικού, γενικά κατασκευάζονται για να ικανοποιήσουν είτε ανάγκες μοντελοποίησης είτε επιθεώρησης διαστάσεων.

## Historical perspective: Dimensional metrology

*From the 19th century...*



ΕΙΚΟΝΑ 1 Η ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΡΟΟΔΟΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

Στην επιθεώρηση διαστάσεων, συγκρίνονται τα δεδομένα σάρωσης με το τελικό μοντέλο CAD ( Computer Aided Design). Για να επιβεβαιωθούν οι διαστάσεις του αντικειμένου, τα δεδομένα από το σαρωμένο αντικείμενο ευθυγραμμίζονται και συγκρίνονται με το ψηφιακό πρότυπο αναφοράς το οποίο συνήθως αποτελεί ένα CAD μοντέλο. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός μοντέλου το οποίο είναι αποτέλεσμα σάρωσης ενός υφιστάμενου φυσικού αντικειμένου. Η μοντελοποίηση αυτή, μπορεί να υποδιαιρεθεί περαιτέρω, στις εξής κατηγορίες:

- Μοντελοποίηση αντίστροφης μηχανικής

Μοντελοποίηση η οποία έχει ως στόχο την καταγραφή των σχεδιαστικών προθέσεων του σχεδιαστή, δηλαδή τη μορφή του αντικειμένου, τα μεμονωμένα χαρακτηριστικά του αλλά και τη λειτουργική αλληλεπίδραση τους, με σκοπό την εισαγωγή τους σε περιβάλλον CAD ως ένα πλήρως λειτουργικό, παραμετρικό, στερεό μοντέλο. Το συγκεκριμένο είδος μοντελοποίησης έχει σε μεγάλο βαθμό εφαρμογή στην βιομηχανική παραγωγή.

- Μοντέλα οπτικοποίησης

Μοντέλα για την προβολή και επικοινωνία των ψηφιακών μέσων. Για παράδειγμα, τα μοντέλα οπτικοποίησης δίνουν τη δυνατότητα σε ένα μουσείο να παρουσιάσει τα γλυπτά του σε τρισδιάστατη μορφή μέσω διαδικτύου καθώς και σε έναν κινηματογραφιστή να δημιουργήσει ταινίες που εμπεριέχουν τρισδιάστατες ψηφιακές μορφές.

- Μοντέλα πιστής αντιγραφής

Μοντέλα που προορίζονται για την ανακατασκευή φυσικών-πρότυπων αντικειμένων, για τα οποία δεν απαιτείται σχεδόν καθόλου περαιτέρω επεξεργασία για την επίτευξη του τελικού προϊόντος, όπως για παράδειγμα αποτελούν τα πρόσθετα τεχνητά ανθρώπινα μέλη.

## 1.2 Συμβολή αντίστροφης μηχανικής στη φάση της σχεδίασης

Οι σύγχρονες βιομηχανίες έχουν επίσης συμπεριλάβει στο δυναμικό τους εργαλεία μέτρησης υψηλής ακρίβειας καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της φάσης σχεδίασης, η μοντελοποίηση αντίστροφης μηχανικής συμβάλλει:

- Στη σύλληψη των εννοιολογικών μοντέλων σχεδιασμού,
- Στην εκτέλεση ανταγωνιστικής ανάλυσης μεταξύ αντικειμένων,
- Στην καταγραφή εξαρτημάτων και εργαλείων ιστορικής κληρονομιάς,
- Στον καθορισμό των χωρικών περιορισμών- κατευθυντήρων γραμμών, εντός των οποίων ένα νέο αντικείμενο θα πρέπει να εφαρμόζει.

Κάθε μία από αυτές τις χρήσεις έχει ως αποτέλεσμα τη σύλληψη του φυσικού σχήματος σε ένα μοντέλο CAD, συχνά για περαιτέρω μηχανική επεξεργασία. Η έννοια της «αντίστροφης μηχανικής» θα μπορούσε πιο σωστά να ορισθεί ως «μηχανική σύλληψης μορφής». Πέρα από το σχήμα ή τη μορφή του αντικειμένου σάρωσης, λίγες πληροφορίες μεταφέρονται στο τελικό αποτέλεσμα. Στα εργαλεία δεύτερης γενιάς, τα οποία περιλαμβάνουν προγράμματα επεξεργασίας σημειακών δεδομένων, η διαδικασία σύλληψης σχήματος παρέχει στον σχεδιαστή CAD περισσότερες πληροφορίες από μονάχα ένα πρότυπο σχήμα. Οι πολλές ώρες που δαπανώνται για να δημιουργηθεί ένα μοντέλο NURBS (<sup>1</sup> Non-uniform rational B-spline), το οποίο τελικά αποτελεί πρότυπο που χρησιμοποιείται για μικρό χρονικό διάστημα και στη συνέχεια απορρίπτεται, με σκοπό τη δημιουργία των επεξεργάσιμων στερεών ή παραμετρικών μοντέλων CAD.

Τα προγράμματα CAD είναι η γλώσσα που χρησιμοποιείται σε όλη τη βιομηχανία για να περιγράφουν τα εκάστοτε σχέδια των σχεδιαστών. Τα νέας γενιάς λογισμικά Αντίστροφης Μηχανικής, επιτρέπουν τη δημιουργία χρήσιμων, παραμετρικών οντοτήτων,

---

<sup>1</sup> NURBS: είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται συνήθως σε γραφικά υπολογιστών για τη δημιουργία και την εκπροσώπηση καμπύλων και επιφανειών.

απευθείας από τα δεδομένα σάρωσης (δηλ., το σύννεφο σημείων), χρήσιμων στις περισσότερες CAD εφαρμογές. Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση εξουσιοδοτεί το σχεδιαστή CAD να έχει τη δυνατότητα αναφοράς σε μεγάλα σύννεφα σημείων ώστε να μπορέσει να κατασκευάσει μοντέλα, με τη συνήθη λειτουργία των εργαλείων CAD. Η γνώση για το πώς ένα αντικείμενο ή τμήμα επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί, οδηγεί την αλληλουχία η οποία ακολουθείται ώστε να δημιουργηθεί το μοντέλο CAD. Τα σχήματα και η ακολουθία με την οποία αποδίδεται η μορφή του αντικειμένου, αποτελεί στην ουσία τη "πρόθεση του σχεδιασμού".

Αν ο προορισμός των δεδομένων σάρωσης είναι ένα μοντέλο CAD, τα εργαλεία επεξεργασίας σημειακών δεδομένων νέας γενιάς μας προσδίδουν περισσότερες πληροφορίες, με λιγότερα σφάλματα σε σχέση με τις υπάρχουσες παλαιότερες τεχνικές. Η αντίστροφη μηχανική στην ουσία είναι αυτή η μέθοδος η οποία συλλαμβάνει τη μορφή και τη λειτουργία ενός υφιστάμενου κομματιού ή μίας συναρμολόγησης και τη προσδίδει στο χρήστη.

### 1.2.1 Λόγοι χρήσης της αντίστροφης μηχανικής

- Ο αρχικός κατασκευαστής δεν υπάρχει πια , αλλά ένας πελάτης χρειάζεται το προϊόν, π.χ. ανταλλακτικά αεροσκαφών που απαιτούνται συνήθως μετά από ένα αεροσκάφος έχει τεθεί σε κυκλοφορία για αρκετά χρόνια.
- Ο αρχικός κατασκευαστής του προϊόντος δεν παράγει πλέον το προϊόν , π.χ. το αρχικό προϊόν έχει καταστεί άνευ αντικειμένου .
- Ο αρχικός φάκελος τεκμηρίωσης του σχεδιασμού του προϊόντος έχει χαθεί ή δεν υπήρξε ποτέ.
- Δημιουργία δεδομένων για την ανακαίνιση ή την κατασκευή ενός κομματιού για το οποίο δεν υπάρχουν δεδομένα CAD, ή για το οποίο τα δεδομένα έχουν καταστεί άνευ αντικειμένου ή έχουν χαθεί.
- Επιθεώρηση ή / και ποιοτικός έλεγχος. Συγκρίνοντας βιομηχανικά μέρη σε σχέση με την αντίστοιχη CAD περιγραφή του ή με ένα πρότυπο αντικείμενο.
- Εξάλειψη ορισμένων αρνητικών χαρακτηριστικών ενός προϊόντος, π.χ., υπερβολική φθορά μπορεί να σημαίνει όταν ένα προϊόν πρέπει να βελτιωθεί.
- Ενίσχυση των χαρακτηριστικών ενός προϊόντος με βάση τη μακροπρόθεσμη χρήση του.

- Αναλύοντας τα θετικά και τα αρνητικά χαρακτηριστικά των ανταγωνιστικών προϊόντων.
- Διερεύνηση νέων τρόπων βελτίωσης των επιδόσεων και των χαρακτηριστικών του προϊόντος.
- Δημιουργία τρισδιάστατων δεδομένων από ένα μοντέλο ή γλυπτό για τα κινούμενα σχέδια σε παιχνίδια και ταινίες.
- Δημιουργία τρισδιάστατων δεδομένων από ένα άτομο , ένα μοντέλο ή γλυπτό για τη δημιουργία , την κλιμάκωση , ή την αναπαραγωγή ενός έργου τέχνης.
- Αρχιτεκτονική - κατασκευαστική καταγραφή και μέτρηση.
- Τοποθέτηση ενδυμάτων ή υποδημάτων σε ανθρώπους και προσδιορισμός της ανθρωπομετρίας ενός πληθυσμού.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Vinesh Raja and Kiran J. Fernandes, Reverse Engineering An Industrial Perspective,σελ.19

### 1.3 Σχεδιαστική Συνοχή – «Design Continuum»

Για να μπορέσουμε να αναλύσουμε τη σημασία της σχεδιαστικής πρόθεσης των αντικειμένων, θα εξετάσουμε το σχεδιασμό ενός καταναλωτικού μηχανολογικού προϊόντος, του «Widget 1000». Παρακάτω παρουσιάζεται μία απλουστευμένη περιγραφή της διαδικασίας δημιουργίας του προϊόντος.

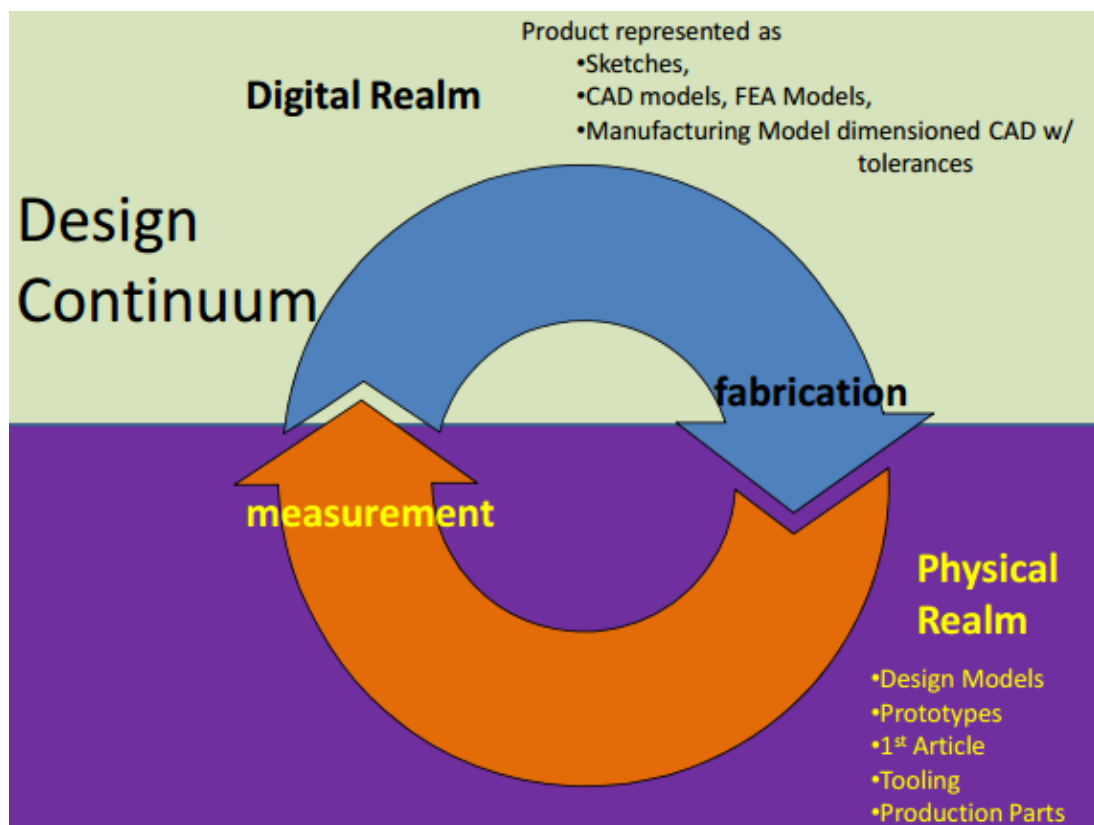
Η γενική ιδέα για τη μορφή του «Widget 1000» αποτελείται από μια σειρά από σκίτσα που δημιουργήθηκαν από βιομηχανικούς σχεδιαστές, από τα οποία σχέδια επιλέχθηκαν τα βέλτιστα σκίτσα, κατά την τελική φάση της διαδικασίας. Εν συνεχεία, αυτά τα σχέδια χρησιμοποιήθηκαν για να μπορέσει να γίνει η κατασκευή μοντέλων από αφρό, τα οποία βάφτηκαν και παρουσιάστηκαν σε ομάδες ανθρώπων, με σκοπό την επιλογή ή όχι του τελικού σχεδίου. Μετέπειτα, το επιτυχημένο αυτό μοντέλο δόθηκε στους μηχανικούς, οι οποίοι ενσυνείδητα το κατασκεύασαν σε κατάλληλα συστήματα CAD ώστε να αναδημιουργήσουν τη μορφή του και να εγκαταστήσουν επιπρόσθετες λειτουργίες και μηχανισμούς, όπως είναι η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, τα ηλεκτρονικά του μέρη και ούτω καθεξής. Στην πορεία προς το τελικό προϊόν, οι δοκιμές και επαναλήψεις έγιναν είτε σε υπολογιστικά μοντέλα ( CAE ) είτε σε φυσικά μοντέλα ( μοντέλα ταχεία προτυποποίησης ).

Το μοντέλο «Widget 1000» υφίσταται σε δύο εναλλακτικές μορφές. Η πρώτη μορφή αποτελεί τη φυσική μορφή η οποία εμπεριέχει επιμέρους τμήματα, εργαλεία, κλπ. Η δεύτερη μορφή αποτελείται από την άυλη ψηφιακή μορφή του, στην οποία περιλαμβάνονται σαρώσεις του αντικειμένου, απεικονίσεις του σε υπολογιστικά συστήματα ( CAD και FEA – Finite Element Methods ) και η τεκμηρίωση του παραγωγικού σχεδιαστικού εξοπλισμού. Καθ' όλη τη διαδικασία σχεδιασμού, το «Widget 1000» βελτιώνεται με την επεξεργασία και των δύο του μορφών, αλλά αυτό δεν καθιστά το τέλος της διαδικασίας βελτιστοποίησής του. Ακόμη και μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού και την προώθησή του για παραγωγή, η φυσική και η ψηφιακή του μορφή χρησιμοποιούνται κάθε φορά που επιβάλλεται η επιθεώρηση των διαστάσεων του κομματιού ή της ανοχής του.

Το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης καλεί αυτή τη μετάβαση μεταξύ των πραγματικών και των ψηφιακών μορφών ως «Design continuum». Η σύγχρονη

προσέγγιση για την ανάπτυξη των προϊόντων υποδηλώνει ότι καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος, από την σύλληψη της ιδέας μέχρι τη παραγωγή, τα όρια μεταξύ του ψηφιακού και του φυσικού κόσμου του προϊόντος αλληλοεπιδρούν συνεχώς.

Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, χρησιμοποιούμε διάφορες κατηγορίες εργαλείων, ανάλογα με το προς ποια κατεύθυνση θα γίνει η διέλευση των συνόρων μας. Για να δημιουργήσουμε φυσικά μέρη ή εργαλεία από ψηφιακά μοντέλα, χρησιμοποιούμε κατασκευαστικά εργαλεία όπως είναι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές 3D Printers ή οι CNC μηχανές. Αντίθετα, αν θέλουμε να περάσουμε από ένα φυσικό μοντέλο σε ένα ψηφιακό μοντέλο, χρησιμοποιούμε εργαλεία μέτρησης διαστάσεων που κυμαίνονται από εργαλεία όπως ένας χάρακας μικρομέτρων ή ένας τρισδιάστατος ψηφιακός σαρωτής, με σκοπό τη δημιουργία του τελικού τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου.



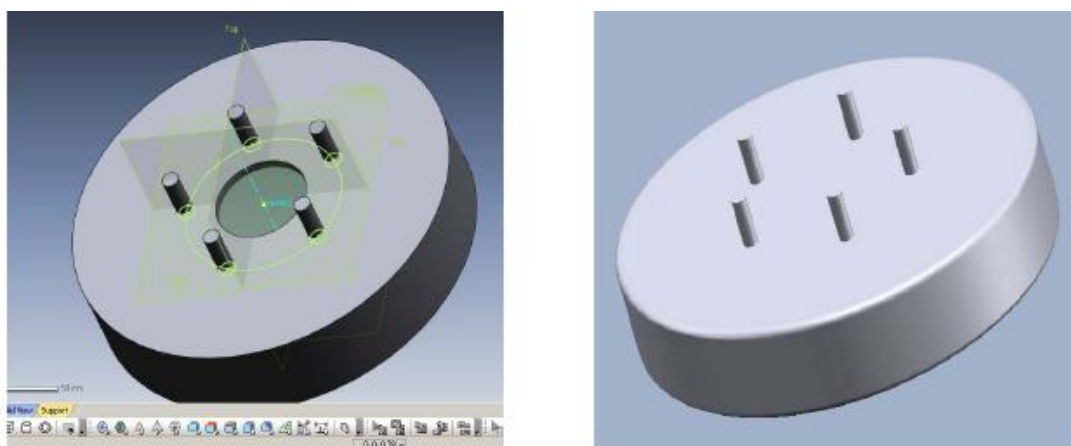
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΟΧΗ-"DESIGN CONTINUUM"

Παρακάτω εξετάζετε το πρώιμο στάδιο της ζωής ενός προϊόντος, το οποίο αποτελεί το στάδιο του σχεδιασμού του. Τα περισσότερα αντικείμενα σχεδιάζονται στο πλαίσιο των περιορισμών του σχεδιασμού, οι οποίοι αφορούν περιορισμούς διαστάσεων, όγκων κ.λπ. Από το σχεδιασμό ενός χειροκίνητου χειρουργικού εργαλείου, μέχρι το σχεδιασμό ενός

αεροσκάφος, υπεισέρχονται σχεδιαστικοί περιορισμοί, τους οποίους ο σχεδιαστής θα κληθεί να λάβει υπόψιν του.

Τα τελευταία χρόνια, διαφόρων ειδών βιομηχανικά συστήματα, όπως είναι οι φορητοί τρισδιάστατοι ψηφιοποιητές, έχουν γίνει ισχυρά εργαλεία για την πλήρη περιγραφή προϊόντων. Ωστόσο, αυτές οι συσκευές ψηφιοποίησης δεν έχουν τη νοημοσύνη να εξάγουν και να κατανέμουν το συνολικό σχήμα του εκάστοτε αντικειμένου σε διακριτά λειτουργικά στοιχεία, και σίγουρα δεν μπορούν να περιγράψουν την σχέση των στοιχειωδών σχημάτων, όπως είχαν καθοριστεί στα πρότυπα σχέδια. Αυτό το γεγονός, απαιτεί μια εις βάθος κατανόηση πέρα από τα όρια του σχήματος.

Η σημασία της πρόθεσης του σχεδιασμού ενός προϊόντος διαφαίνεται αν κοιτάξουμε για παράδειγμα τα παρακάτω σχήματα. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μικρή διαφορά μεταξύ ενός τυμπάνου ενός φρένου και μίας τούρτας γενεθλίων. Και τα δύο αποτελούνται από διαφορετικής διαμέτρου κυλίνδρους, με πέντε μικρότερους κυλίνδρους στην κορυφή. Η κύρια διαφορά τους είναι η τυχαιότητα με την οποία έχουν τοποθετηθεί τα κεριά πάνω στη τούρτα γενεθλίων, σε σχέση με την προσεκτική τοποθέτησή των μπουλονιών πάνω στο τύμπανο του φρένου, περιμετρικά του άξονα του, όπου χωρίζονται μεταξύ τους γωνία 72 μοιρών.



**ΕΙΚΟΝΑ 3 ΤΥΜΠΑΝΟ ΦΡΕΝΟΥ ΑΡΙΣΤΕΡΑ, ΤΟΥΡΤΑ ΓΕΝΕΘΛΙΩΝ ΔΕΞΙΑ, ΟΜΟΙΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΘΕΣΗ**

Η κατανόηση της σχέσης των πέντε αυτών στοιχείων και του περιορισμού σχετικά με τον τρόπο που τοποθετούνται, είναι ένα παράδειγμα το οποίο τονίζει τη σημασία του λεγόμενου «design intent», δηλαδή της σχεδιαστικής πρόθεσης του σχεδιασμού. Η

διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής με άλλα λόγια δεν έχει μονάχα ως σκοπό την απλή απεικόνιση του σχήματος του αντικειμένου αλλά τη συνολική κατανόηση και μετάφραση της λειτουργίας του φυσικού μοντέλου.

Παρακάτω παραθέτετε μια γενική προσέγγιση του προσδιορισμού της χρήσης των δύο διαφορετικών μοντέλων: το μοντέλο απλής απεικόνισης και το μοντέλο αντίστροφης μηχανικής που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

### 1.3.1 Μοντέλο Απλής Απεικόνισης και εφαρμογές

Το μοντέλο απλής απεικόνισης είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου το μοντέλο θα πρέπει να αντιμετωπίζεται απλά ως σύνολο και ταυτόχρονα δεν απαιτείται η αποδόμησή του και συνεπώς, η περαιτέρω επεξεργασία του είναι περιορισμένη. Εφαρμογές όπου τέτοια μοντέλα είναι κατάλληλα παρατίθενται παρακάτω:

- Στην Ιατρική επιστήμη σε τεχνητά προσθετικά ανθρώπινα μέλη, όπου η ποιότητα ορίζεται από την προσαρμογή του σχήματος της προσθετικής με την ανατομία του ασθενούς, κατά την οποία μικρή έως και καθόλου επεξεργασία των δεδομένων στοιχείων απαιτείται.
- Στην τέχνη της γλυπτικής, όπου μία μακέτα ενός καλλιτέχνη μπορεί να διευρυνθεί σε ένα πλήρους μεγέθους χάλκινο αντίγραφο, για το οποίο απαιτείται περιορισμένη επεξεργασία (π.χ., απλές αλλαγές πάχυνσης του κελύφους, της κλίμακας, κ.λπ.).
- Σε μηχανές κατασκευής όπως είναι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές ή οι μηχανές CNC, όπου κατά γενικές γραμμές, κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης του αντικειμένου που έχει κατασκευαστεί δεν απαιτείται ανάγκη για περαιτέρω επεξεργασία.

Κατά κανόνα, μπορούμε να πούμε ότι αν το μοντέλο δεν χρειάζεται να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία, δηλαδή πέρα από απλές αλλαγές, τότε το μοντέλο απλής απεικόνισης είναι επαρκής μέθοδος.

### 1.3.2 Παραμετρικά μοντέλα Αντίστροφης Μηχανικής

Εάν αναμένουμε οποιεσδήποτε αλλαγές στο κατασκευασμένο τμήμα από την τρέχουσα μορφή του, ή αν θέλουμε να καταγράψουμε και να επεξεργαστούμε τη μορφή του εξαρτήματος σε σύστημα CAD, τότε προτιμάτε η χρήση παραμετρικών μοντέλων. Τα CAD παραμετρικά μοντέλα είναι η γλώσσα που χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή για να περιγράψουν το σχήμα και τα μηχανικά μέρη του εκάστοτε αντικειμένου.

Επιστρέφοντας στο παραπάνω παράδειγμα μας, ας υποθέσουμε ότι το φρένο υποβάλλεται είτε σε φυσική δοκιμή είτε σε υπολογιστική μηχανική ανάλυση, όπου προκύπτει η ανάγκη για μια μεγαλύτερη διάμετρο του μπουλονιού. Σαφώς και η επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων, του πολυγωνικού πλέγματος και των NURB επιφανειών, αποτελεί μία άκρως χρονοβόρα διαδικασία για μία τόσο μικρή αλλαγή στο σχήμα του αντικειμένου. Ο μηχανικός θα χρειαστεί να τροποποιήσει μία μόνο παράμετρο στο CAD μοντέλο, η οποία είναι η διάμετρος του κύκλου επί του οποίου βρίσκονται τα μπουλόνια. Συνεπώς, η επιλογή του είδους του εργαλείου που χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε, έγκειτο στο ερώτημα κατά πόσο τα δεδομένα σάρωσης θα αποτελέσουν τη βάση ενός μοντέλου CAD ή όχι. Αν η απάντηση είναι ναι, τότε το μέσο για να συλλάβει το σχήμα και την πρόθεση του σχεδιασμού απαιτεί τη χρήση μοντελοποίησης τρίτης γενιάς.

## 1.4 Ροή εργασίας - Από τα δεδομένα σάρωσης προς τη σχεδιαστική πρόθεση

Προτού ασχοληθούμε με τη ροή εργασίας κατά την οποία θα πάρουμε το μοντέλο CAD από τα δεδομένα σάρωσης, θα χρειαστεί να παραθέσουμε μερικούς ορισμούς οι οποίοι αποτελούν βασική γνώση για τη περεταίρω κατανόηση των διαδικασιών της Αντίστροφης Μηχανικής:

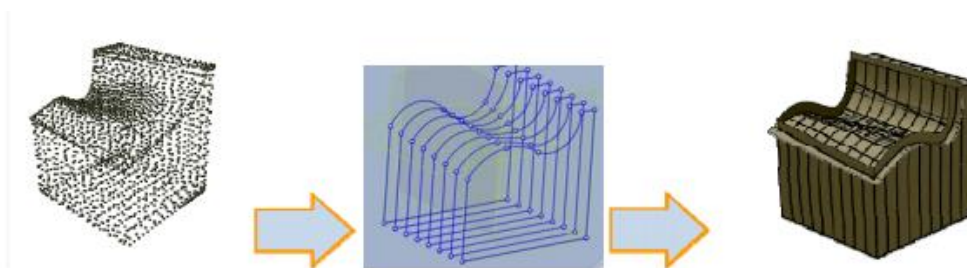
- **Νέφος σημείων :** Για παράδειγμα, αναφορικά με την εξέταση της σάρωση μίας σφαίρας, ο σαρωτής θα μετρήσει πολλά διακριτά σημεία που ορίζονται στην επιφάνεια της σφαίρας. Κάθε σημείο περιγράφεται από τις  $X$ ,  $Y$  και  $Z$  συντεταγμένες. Το σύνολο αυτών των σημείων ονομάζεται "νέφος σημείων".
- **NURBS καμπύλες:** Η επιφάνεια που περνά μέσα από το κέντρο του νέφους σημείων και διασταυρώνεται επίσης με μερικά από τα σημεία στην επιφάνεια αποτελεί NURBS επιφάνεια. Εάν συνδέσουμε αυτές τις τελείες στην επιφάνεια με μια καμπύλη Bezier, δημιουργούμε ένα κύκλο. Πολλαπλές διατομές θα οδηγήσουν σε περισσότερους κύκλους, που δείχνουν την έκταση της σφαίρας μας. Αυτές οι καμπύλες αποτελούν μία δομή δεδομένων που είναι αρκετά ελαφριά, ικανή για να εισαχθεί αλλά και να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο για την μοντελοποίηση σε συστήματα CAD.
- **Πολυγωνικό πλέγμα:** Αν ξεκινήσουμε με ένα ασύνδετο νέφος σημείων, και συνδέσουμε κάθε σημείο με τις άμεσα γειτονικές κορυφές του μέσω μίας ευθείας γραμμής, αυτή η διαδικασία θα δημιουργήσει πολλές επίπεδες έδρες. Όλες μαζί αυτές οι όψεις δημιουργούν μια επιφάνεια που προσεγγίζει μια σφαίρα, η οποία προσεγγίζει στην όψη μία μπάλα disco. Τα περισσότερα CAD συστήματα δεν μπορούν να χειριστούν πολυγωνικά πλέγματα όπως δεν μπορούν να επεξεργαστούν και σύννεφα σημείων. Ωστόσο, αυτή η μορφή είναι γενικά συμβατή με μεθόδους ταχείας προτυποποίησης και λογισμικά πεπερασμένων στοιχείων.
- **NURBS επιφάνειες:** Οι επιφάνειες αυτές δημιουργούνται εάν χρησιμοποιήσουμε καμπύλες κατά μήκος της διαμήκης κατεύθυνσης του σημειακού νέφους μας, και θέσουμε ένα καμπύλο «μπάλωμα» μεταξύ των καμπυλών, ακολουθώντας το περίγραμμα των

σημείων μας. Ωστόσο, μετά την εισαγωγή τους σε συστήματα CAD, τα μπαλώματα NURBS είναι σε μεγάλο βαθμό μη επεξεργάσιμα.

### 1.4.1 Λογισμικό επεξεργασίας σημείων

#### 1.4.1.1 Λογισμικό πρώτης γενιάς

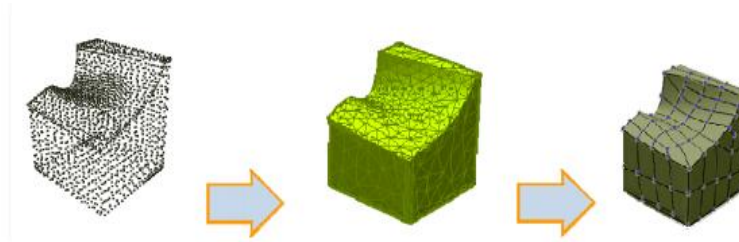
Η έλευση των δεδομένων σάρωσης ευδοκίμησε σε πρώτο στάδιο στα στούντιο σχεδιασμού αυτοκινήτων. Τα μέσα για να χειριστούν αυτά τα μεγάλα σύνολα δεδομένων έγινε αρκετά δημοφιλής, δεδομένου ότι η δυναμική των λέιζερ και του λευκού φωτός ψηφιοποίησης αποτελούσαν το κύριο μέσο για να μπορέσει να γίνει εφικτή η δημιουργία διατομών ή επιφανειών, τις οποίες τα προγράμματα CAD θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν για περαιτέρω επεξεργασία. Η διαδικασία της πρώτης γενιάς, είχε μια αρκετά επιτυχημένη πορεία στην αγορά, αλλά η διαδικασία εφαρμογής της ήταν επίπονη και απαιτούσε εξειδικευμένη γνώση λογισμικού από ειδικευμένους χρήστες.



ΕΙΚΟΝΑ 4 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΩΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ. ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ- ΤΟΜΕΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ- NURB ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

#### 1.4.1.2 Λογισμικό δεύτερης γενιάς

Αργότερα, στη δεκαετία του 1990, οι ψηφιοποιητές ήταν όλο και πιο δημοφιλείς, αλλά εξακολουθούσαν να είναι εργαλείο το οποίο προοριζόταν μονάχα για εξειδικευμένους χρήστες. Ήταν σαφές ότι μια πιο λειτουργική διαδικασία ήταν επιθυμητή, και μια δεύτερης γενιά επεξεργασίας προέκυψε με σκοπό να ικανοποιήσει την ανάγκη αυτή. Εταιρείες όπως η Paraform, η Geomagic και η Rapidform δημιούργησαν εργαλεία αυτοματοποίησης της διαδικασίας δημιουργίας CAD στοιχείων, εφαρμόζοντας ριζικές αλλαγές στη ροή της εργασίας.



ΕΙΚΟΝΑ 5 ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ - ΠΟΛΥΓΩΝΙΚΟ

Η διαδικασία δεύτερης γενιάς (2G) αρχίζει με το ίδιο σύνολο νέφους σημείων. Αλλά αντί της δημιουργίας διατομών, δημιουργείτε ένα επιφανειακό πολύγωνο από τη σύνδεση των γειτονικών σημείων με γραμμές μεταξύ των κορυφών αυτών. Πλέον το σύννεφο ασύνδετων σημείων έχει μετατραπεί σε ένα δίκτυο μικρών διασυνδεδεμένων επιφανειών που περιγράφουν το σχήμα της σαρωμένης επιφάνειας. Απαιτείται μία χρονοβόρα διεργασία για να "καθαρίσει" η σάρωση από ανωμαλίες και προβλήματα. Λειτουργίες όπως είναι η πλήρωση οπών, η εξομάλυνση, η τμηματοποίηση κ.λπ. είναι όλα μέρος της διαδικασίας ώστε να πραγματοποιηθεί η τελειοποίηση της μορφής του πολυγωνικού πλέγματος (συχνά ώστε να εξαχθεί ως μοντέλο STL), το οποίο είναι επαρκές για εργασίες όπως η ταχεία πρωτοτύπων ή η τρισδιάστατη εκτύπωση. Ωστόσο, η μετατροπή σε NURBS εξακολουθεί να είναι απαραίτητη για αρκετές διεργασίες, μιας και το σύνολο των πλεγματικών δεδομένων, συχνά είναι βαρύτερο από το αρχικό νέφος σημείων. Έτσι εφαρμόζεται μια πρόσθετη διαδικασία με την οποία ένα δίκτυο NURBS τοποθετείται στην αντίστοιχη επιφάνεια. Με απλά λόγια, οι επιφάνειες NURBS χρησιμοποιούν μία συρραφή καμπύλων μπαλωμάτων για να προσεγγίσουν την τοπολογία του επιφανειακού πλέγματος με απώτερο στόχο τη δημιουργία του παραμετρικού μοντέλου. Μερικά εργαλεία δεύτερης γενιάς υποστηρίζουν το χειρωνακτικό σχεδιασμό των «μπαλωμάτων». Αυτά αποτελούν όμως μπαλώματα ελεύθερης μορφής («dumb shapes», δηλαδή μορφή η οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί λόγω έλλειψης λειτουργικών χαρακτηριστικών της) και όχι μπαλώματα παραμετρικών χαρακτηριστικών.

Αυτή η διαδικασία δεν αποτελεί διαδικασία ανοικτού βρόχου, και συνεπώς λάθη παραμένουν συχνά κρυμμένα ενδιάμεσα σε βήματα της ροής της εργασίας. Δεδομένου ότι ο βρόχος ανάδρασης είναι τόσο μεγάλος, αυτό συνεπάγεται ότι ο χρόνος για την ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων είναι επίσης μεγάλος.

### 1.4.1.3 Λογισμικό τρίτης γενιάς

Ένα προφανές ερώτημα το οποίο δημιουργείται είναι το εξής: Εφόσον χρειαζόμαστε ένα CAD μοντέλο, γιατί να μη δημιουργήσουμε ένα παραμετρικό CAD μοντέλο απευθείας από τα δεδομένα σάρωσης ;



ΕΙΚΟΝΑ 6 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η ερώτηση αυτή, μπορεί να απαντηθεί από τα μοντέλα τρίτης γενιάς, που παρέχουν επεξεργάσιμες οντότητες CAD, οι οποίες προέρχονται από τα δεδομένα σάρωσης, καθώς και από την πλήρη περιγραφή της σειράς με την οποία μοντελοποιούνται, περιγράφοντας τη σχέση μεταξύ των διαφόρων φορέων.

Ο σχεδιαστής CAD δημιουργεί τα χαρακτηριστικά με συγκεκριμένη σειρά κατά την οποία ο ίδιος προβλέπει ρητά τη σχέση μεταξύ διαφόρων χαρακτηριστικών, όπως για παράδειγμα τις βίδες στο τύμπανο των φρένων. Οι σχέσεις «γονέα / παιδιού» καταγράφονται στο δέντρο ιστορικού που χρησιμοποιείται σε δημοφιλείς εφαρμογές CAD όπως είναι το Pro / E®, το SolidWorks® και το CATIA®. Δεδομένου ότι σχεδόν όλες οι μεγάλες εφαρμογές χρησιμοποιούν μία παραμετρική προσέγγιση βασισμένη σε δέντρα ιστορικού, οι εντολές και οι σχέσεις «γονέα / παιδιού» μεταφέρονται στην εφαρμογή CAD, αναδημιουργώντας το σύνολο του μοντέλου με τα χαρακτηριστικά της μοντελοποίησης, ανέπαφα. Χωρίς αυτούς τους περιορισμούς και τις σχέσεις, ο σχεδιαστής CAD θα πρέπει να εξακολουθεί να αναδιαμορφώνει τμήμα του μοντέλου στο περιβάλλον CAD, γεγονός το οποίο υπολείπεται της υπόσχεσης ενός πλήρους λειτουργικού παραμετρικού μοντέλου.

#### 1.4.3.1 Οφέλη μοντέλων τρίτης γενιάς

Τα οφέλη των μοντέλων τρίτης γενιάς είναι πολλά, αλλά τα πιο σημαντικά είναι τα εξής:

- **Εξοικονόμηση χρόνου:** Με την κατάργηση της ανάγκης για τη δημιουργία των πλεγματικών και επιφανειακών μοντέλων, τα τρίτης γενιάς μοντέλα δημιουργούν το μοντέλο CAD σε λιγότερο από το 1/3 του χρόνου που απαιτείται για τις μεθόδους δεύτερης γενιάς. Αυτό προκύπτει αφού αποφεύγεται η δημιουργία δύο επιπλέον μοντέλων.
- **Μεγαλύτερη ακρίβεια:** Τα μοντέλα τρίτης γενιάς υποστηρίζουν πολλαπλά εργαλεία μέτρησης. Με την υποδοχή εργαλείων μέτρησης εκτός από το σαρωτή, ο σχεδιαστής μπορεί να προσφέρει επιβολή αυστηρότερων ορίων ανοχής για κρίσιμα χαρακτηριστικά.
- **Ανατροφοδότηση:** Η ανατροφοδότηση τυχόν αποκλίσεων μεταξύ των χαρακτηριστικών του CAD μοντέλου και των σημειακών δεδομένων, αποκαλύπτεται χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα έγχρωμων χαρτών οι οποίοι δείχνουν τις υποκύπτουσες αποκλίσεις.
- **Εύκολη διόρθωση.** Ακόμα κι αν προκύψει μια διαφορά, η μοντελοποίηση επιτρέπει στο χειριστή να "επανέλθει" σε προηγούμενο βήμα και να διορθώσει το λάθος που έχει προκύψει κατά τη ροή της εργασίας.
- **Γρήγορη καμπύλη μάθησης για τους χρήστες :** Η χρήση κοινών εργαλείων CAD και μεθόδων μειώνει την καμπύλη εκμάθησης για τους χρήστες οι οποίοι είναι εξοικειωμένοι. Συνεπώς, δεν απαιτούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό χρήστες με τόσο εξειδικευμένες γνώσεις όσο σε λογισμικά προηγούμενης γενιάς.
- **Εξαιρετικά CAD μοντέλα προερχόμενα από οριακά δεδομένα σάρωσης**

Οι διαδικασίες δεύτερης γενιάς απαιτούν τέλεια πλεγματικά μοντέλα, ενώ το λογισμικό τρίτης γενιάς δεν απαιτεί σε τόσο μεγάλο βαθμό τέλεια πλεγματικά μοντέλα. Επειδή η ανάδραση είναι τόσο άμεση, κάθε μοντέλο που βασίζεται σε χαρακτηριστικά πέρα από τις

ανοχές του χρήστη, είναι άμεσα εμφανές. Το γεγονός αυτό οφείλετε στη δημιουργία παραμετρικών μοντέλων που βασίζονται στο δέντρο χαρακτηριστικών, το οποίο προέρχεται απευθείας από τα δεδομένα σάρωσης και επιτρέπει στο χρήστη να περιγράφει άμεσα την αλληλεξάρτηση των χαρακτηριστικών που διαμορφώνονται. Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση ουσιαστικά αποτελεί κάτι περισσότερο από την απλή «μετάφραση» μιας φυσικής κατάστασης σε ένα ψηφιακό πρότυπο. Η μοντελοποίηση τρίτης γενιάς αποτελεί στην ουσία την πραγματική έννοια της αντίστροφης μηχανικής, με αποτέλεσμα τη δημιουργία παραμετρικού στερεού μοντέλου, που ενσαρκώνει την πρόθεση του σχεδιασμού, είναι πλήρως λειτουργικό, με δυνατότητα επεξεργασίας και συμβατό με βάσεις δεδομένων. (Chader, 2008)

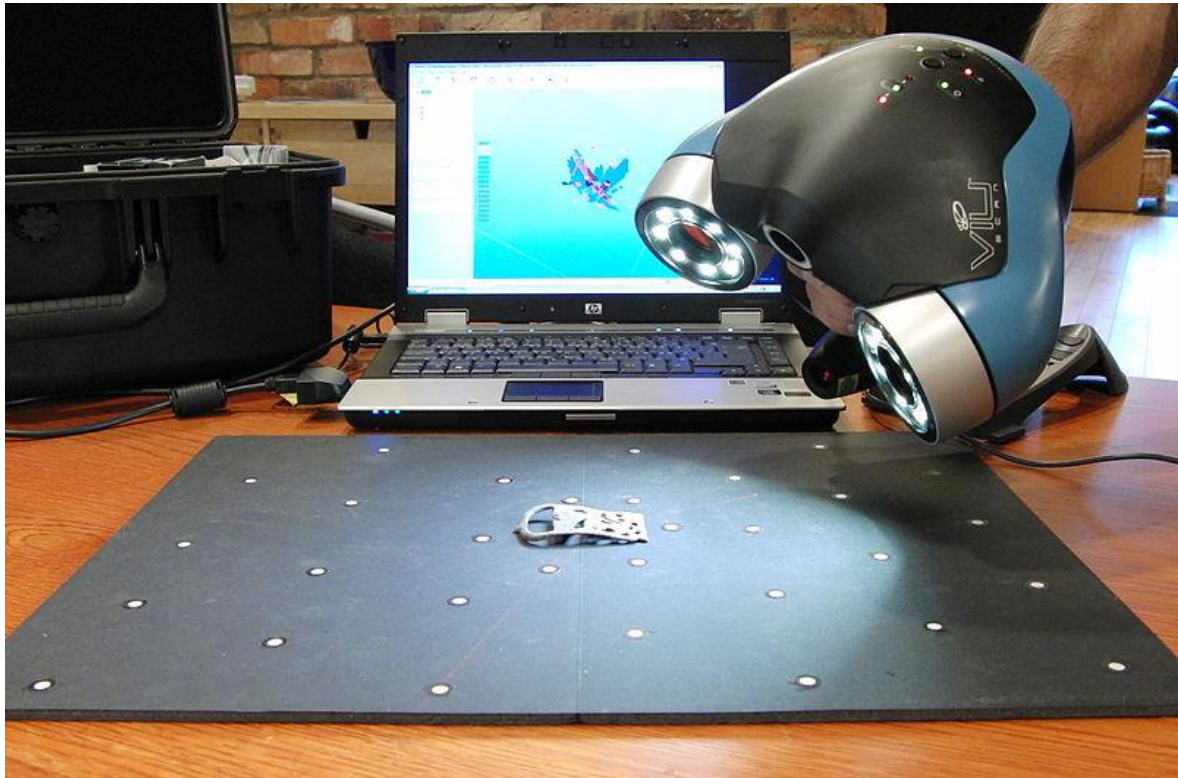
## 1.5 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Παρά το γεγονός ότι, η διαδικασία μετατροπής σημειακών δεδομένων σε μοντέλα NURB επιφανειών έχει αυτοματοποιηθεί, η δημιουργία παραμετρικών στερεών μοντέλων από σημειακά δεδομένα δεν μπορεί να γίνει πλήρως αυτοματοποιημένα. Αυτό συμβαίνει επειδή, παρά τις τεχνικές προκλήσεις που προκύπτουν στην εκτέλεση, η πρότυπη σχεδιαστική πρόθεση που ενσωματώνεται στα σημειακά δεδομένα, θα πρέπει να ανακτηθεί και να πραγματοποιηθεί στο παραμετρικό στερεό μοντέλο. Αποφάσεις μοντελοποίησης θα πρέπει να ληφθούν από τον ίδιο τον σχεδιαστή, προκειμένου να ανακτηθούν οι πρότυπες σχεδιαστικές προθέσεις. Ωστόσο, οι σχεδιαστές θα πρέπει να απαλλαγθούν από το χρονοβόρο χειρισμό τεράστιων σε πλήθος σημειακών δεδομένων και την κατασκευή πρωτόγονων γεωμετρικών οντοτήτων. Ως εκ τούτου, το ιδανικό σενάριο εμπεριέχει εργαλεία λογισμικού τα οποία θα διευθετούν αυτοματοποιημένα τις χρονοβόρες εργασίες, όπως τη διαχείριση του νέφους σημείων, τη διαδικασία τριγωνοποίησης, κλπ., και θα προσφέρουν εξαιρετικές δυνατότητες ώστε να μπορέσει ο σχεδιαστής να ανακτήσει πλήρως, με διαδραστικές μεθόδους τις προθέσεις του σχεδιασμού.

Ολοκληρώνοντας την διεργασία του αντικειμένου μελέτης, ο χρήστης μπορεί να έχει στα χέρια του ένα μοντέλο CAD πλήρως ορισμένο και επεξεργασμένο, το οποίο αποτελεί πιστό αντίγραφο του πραγματικού αντικειμένου. Οφείλουμε να τονίσουμε ότι το πρόγραμμα Geomagic Studio είναι ένα πάρα πολύ καλό πρόγραμμα που εκτελεί σε βήματα τις διαδικασίες αυτές, όπως η μείωση του θορύβου, η μείωση των τριγώνων ή ο επαναπροσδιορισμός τους στον χώρο κ.λπ. Δυστυχώς όμως, δεν μπορεί να μετατρέψει το μοντέλο σε συμπαγές μοντέλο, ώστε να μπορεί να το διαβάσει κατάλληλα κάποιο CAD σύστημα και εν συνεχεία να το επεξεργαστεί και να μπορέσει να αποδώσει τα πρότυπα μορφολογικά χαρακτηριστικά του.

## 1.6 Ορισμός Τρισδιάστατης Ψηφιοποίησης

Ένας τρισδιάστατος σαρωτής είναι μια συσκευή που αναλύει ένα πραγματικό αντικείμενο ή το περιβάλλον με σκοπό τη συλλογή δεδομένων σχετικά με το σχήμα του και, ενδεχομένως, την εμφάνισή του ( π.χ. χρώμα) . Τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων.



ΕΙΚΟΝΑ 7 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ ΧΕΙΡΟΣ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Πολλές διαφορετικές τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή αυτών των συσκευών τρισδιάστατης σάρωσης. Κάθε τεχνολογία έρχεται με τα δικά της όρια , τα δικά της πλεονεκτήματα και το δικό της κόστος . Πολλοί περιορισμοί ως προς το είδος των αντικειμένων που μπορούν να ψηφιοποιηθούν, εξακολουθούν να υπάρχουν. Τα τρισδιάστατα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν χρήσιμα στοιχεία για μία ευρεία ποικιλία εφαρμογών. Οι ψηφιακοί σαρωτές χρησιμοποιούνται ευρέως από τη βιομηχανία του θεάματος στην παραγωγή ταινιών και video games . Άλλες κοινές εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας περιλαμβάνουν τον τομέα του βιομηχανικού σχεδιασμού, την ιατρική επιστήμη, την αντίστροφη μηχανική, τη προτυποποίηση, τον έλεγχο της ποιότητας / επιθεώρησης και την τεκμηρίωση πολιτιστικών αντικειμένων.

## 1.7 Βασικά χαρακτηριστικά της αντίστροφης μηχανικής

<sup>3</sup>Η αντίστροφη μηχανική και η ανακατασκευή επιφανειών είναι νέοι τομείς οι οποίοι έγιναν πολύ δημοφιλείς στις αρχές της δεκαετίας του '80 με την ταχεία ανάπτυξη των συσκευών σάρωσης αντικειμένων.

Υπάρχει ένα τεράστιο ποσό αντικειμένων από καθημερινά αντικείμενα μέχρι μηχανικά μέρη, παιχνίδια, κλπ., για τα οποία η αναπαράσταση με υπολογιστή δεν είναι γνωστή, όπως είναι για τα πρωτότυπα ανθρώπινων μελών ή δεν είναι διαθέσιμη. Ο σκοπός της επιφανειακής ανοικοδόμησης είναι να μετατρέψει ένα τέτοιο αντικείμενο σε ψηφιακή αναπαράσταση, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω απεικόνιση, επεξεργασία, κατασκευή κ.λπ.

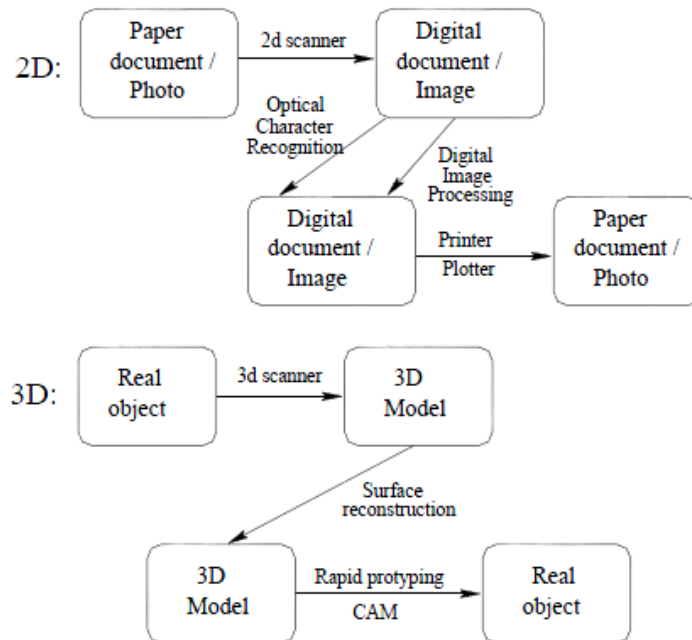
Μέθοδοι τρισδιάστατης ανακατασκευής και περαιτέρω επεξεργασίας νέφους σημείων έχουν ήδη εισαχθεί σε όλους σχεδόν τους τομείς της ανθρώπινης ζωής, όπως η ιατρική, η αρχιτεκτονική, η κατασκευή μηχανών, ο σχεδιασμός αυτοκινήτων, τη βιομηχανία παιχνιδιών, καθώς και τα είδη ένδυσης. Η βιομηχανία του θεάματος (βιομηχανία κινηματογράφου), η βιομηχανία επιστημονικής απεικόνισης, καθώς και της εικονικής πραγματικότητας μπορεί επίσης να αναφερθούν ως πεδία που απαιτούν τρισδιάστατα ψηφιοποιημένα αντικείμενα.

Η αναλογία μεταξύ δυσδιάστατης και τρισδιάστατης ανακατασκευής αντικειμένων απεικονίζεται στην εικόνα 8. Αναφορικά με τη δισδιάστατη "ανασυγκρότηση", τα ανεπεξέργαστα δεδομένα είναι τα έγγραφα σε χαρτί ( κείμενο ή εικόνες ), τα οποία έχουν ψηφιοποιηθεί με έναν συνηθισμένο οπτικό σαρωτή, επεξεργαστεί, και προαιρετικά τροποποιηθεί ούτως ώστε να είναι έτοιμα για εκτύπωση ή αποτύπωση. Με ανάλογο τρόπο, ένα τρισδιάστατο αντικείμενο σαρώνεται από μια συσκευή σάρωσης, το οποίο μπορεί προαιρετικά να ανακατασκευαστεί.

<sup>3</sup> A Direct Approach for the Segmentation of Unorganized Points and Recognition of Simple Algebraic Surfaces PhD Thesis M. Van'co University of Technology Chemnitz October 2002

Η όλη διαδικασία μπορεί να υποδιαιρεθεί σε ακόλουθα βήματα :

- Απόκτηση δεδομένων/αντικειμένων σάρωσης
- Εγγραφή Multiview /ευθυγράμμιση των σαρωμένων εικόνων
- Ανακατασκευή επιφάνειας δημιουργώντας ένα μοντέλο ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAD , πολυγωνική προσέγγιση κ.λπ.)
- Βιομηχανική Παραγωγή - [ προαιρετικό ]



ΕΙΚΟΝΑ 8 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

### 1.7.1 Η συλλογή των δεδομένων

Η απόκτηση της γεωμετρίας τρισδιάστατων μοντέλων είναι ένα μακροχρόνιο και δύσκολο πρόβλημα. Στο παρελθόν , οι «προς τα εμπρός» μέθοδοι μοντελοποίησης υπήρξαν επιτυχείς στη μοντελοποίηση κανονικών σχημάτων. Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν στο χρήστη να ορίσει άμεσα και αλληλεπιδραστικά το σχήμα ενός αντικειμένου. Από την άλλη πλευρά , συχνά τα φυσικά αντικείμενα έχουν ακανόνιστα σχήματα και περίπλοκες

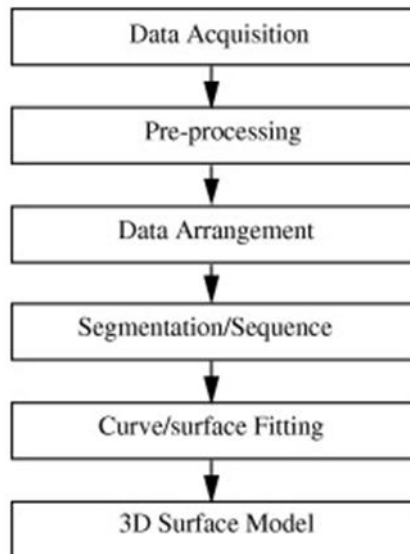
επιφάνειες . Είναι πολύ δύσκολο να χρησιμοποιήσουν ευθύγραμμους μεθόδους για να καθορίσουν διαδραστικά τις λεπτομέρειες πολύπλοκων σχημάτων και επιφανειών.

Υπάρχει πλέον μια τάση αναστροφής της λειτουργίας της διαδικασίας απόκτησης δεδομένων, ανακτώντας τις γεωμετρικές και τοπογραφικές πληροφορίες από μετρήσεις πραγματικών αντικειμένων.

Η μέθοδος σάρωσης μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες:

- Παθητική σάρωση
- Ενεργητική σάρωση

Πριν από μερικά χρόνια οι επιστήμονες υπολογιστικής όρασης ενδιαφέρονταν κυρίως για τεχνικές παθητικής ανίχνευσης που θεωρητικά υποτίθεται ότι αντανακλούν τον τρόπο που το ανθρώπινο μάτι λειτουργεί, δηλαδή δεν εκπέμπεται ενέργεια για το σκοπό της ανίχνευσης, μονάχα λαμβάνεται. Τέτοιες παθητικές τεχνικές περιλαμβάνουν τη στερεοσκοπική όραση αλλά και «μονόφθαλμες» τεχνικές όπως το shape form contour ή shape form shading. Το πρόβλημα είναι ότι η ανάκτηση τρισδιάστατων πληροφοριών από μία ενιαία δισδιάστατη εικόνα εμπεριέχει αρκετά προβλήματα. Έτσι ,οι μονόφθαλμες τεχνικές πρέπει να προσθέσουν εκ των προτέρων πληροφορίες, όπως την ομαλότητα της επιφάνειας για την ανάκτηση δεδομένων 3D (διαδικασία γνωστή και ως «τακτοποίηση»). Η τακτοποίηση πολύ συχνά είναι εξαρτώμενη από το ίδιο το περιεχόμενο και είναι δύσκολο να εφαρμοσθεί έξω από το εργαστήριο. Τεχνικές στέρεο-όρασης χρησιμοποιούν δύο ή περισσότερους αισθητήρες , και ως εκ τούτου δύο ή περισσότερες εικόνες 2D ανακτώνται σε 3D πληροφορίες. (Fernandes, 2008)



ΕΙΚΟΝΑ 9 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

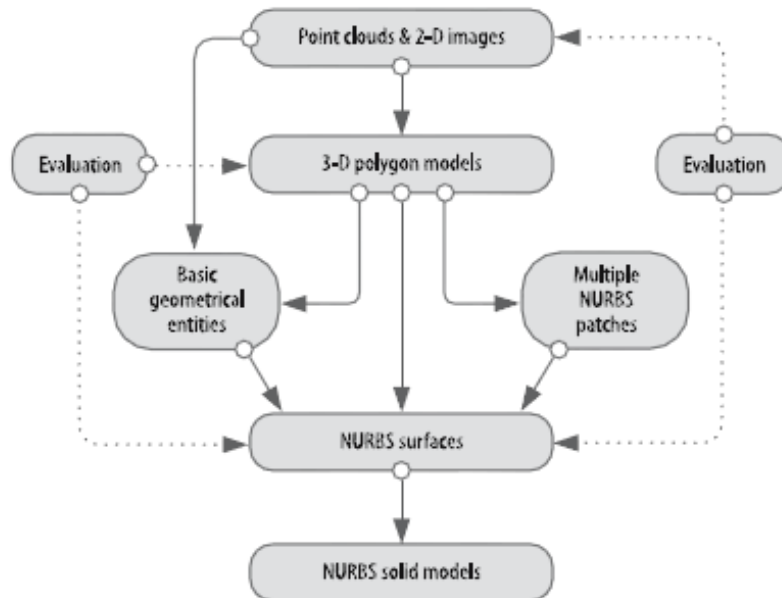
Οι σαρωτές, με βάση τον τύπο της απόκτησης των πληροφοριών από ένα τρισδιάστατο αντικείμενο, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις παρακάτω ομάδες:

- Σαρωτές εξ' επαφής:
  - Σαρωτές με γραφίδα αφής
- Σαρωτές χωρίς επαφή:
  - Σαρωτές λέιζερ
  - Οπτικοί σαρωτές που χρησιμοποιούν δομημένο φως

#### 1.7.1.1 Φάση καμπύλων

Οι επιφάνειες NURB ορίζονται από ένα δίκτυο καμπυλών. Ως εκ τούτου, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής NURB καμπύλων, τα σύννεφα σημείων και τα πολυγωνικά πλέγματα, χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία καμπύλων, και ειδικά για τμήματα με επιφάνειες ελεύθερης μορφής. Βασικές οντότητες CAD όπως είναι οι κύκλοι, τα ορθογώνια και οι γραμμές, μπορούν να δημιουργηθούν εύκολα με χειροκίνητη τοποθέτηση με βάση τα υπάρχοντα σημεία αναφοράς.

Οι ακόλουθες εργασίες είναι οι πιο σημαντικές στη φάση των καμπύλων: διατομή, 3-D καμπύλης από σημεία, και τροποποίηση καμπύλης.



ΕΙΚΟΝΑ 10 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ NURBS

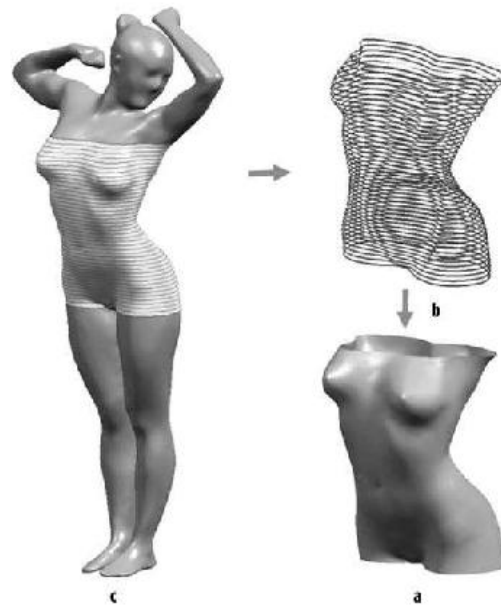
Η μέθοδος των διατομών, δημιουργεί διατομές σημείων ή καμπύλων που βασίζονται σε ένα επίπεδο που τέμνει το μοντέλο. Η τρισδιάστατη εφαρμογή καμπύλων από σημεία λειτουργίας επιτρέπει τη δημιουργία μιας καμπύλης από ένα σύνολο σημείων. Η τροποποίηση καμπύλων επιτρέπει τον έλεγχο μιας καμπύλης ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των μοντέλων.

Οι πιο χρήσιμες επιλογές στην τροποποίηση καμπύλων είναι οι εξής:

(i) **Επαναπαραμετροποίηση Καμπύλης** ( Curve Reparameterization ): Αλλάζει τον αριθμό των σημείων ελέγχου αναδιανέμοντας τα σημεία ελέγχου κατά μήκος της καμπύλης.

(ii) **Μετατροπή βαθμού καμπύλης** ( Curve Degree Conversion ): Αλλάζει τον βαθμό της καμπύλης με καθορισμένη ανοχή.

(iii) **Εξομάλυνση και καθαρισμός καμπύλης** ( Curve Smoothing and Cleaning ): Εξομαλύνει την καμπύλη, καθαρίζει και αφαιρεί τα περιττά σημεία ελέγχου.



**Εικόνα 11 (α) Nurb επιφανειακό μοντέλο γυναικείου σώματος (β) κατασκευή καμπύλων - εγκάρσιων τομών (γ) δημιουργία πολυγωνικού μοντέλου**

Οι επιφάνειες NURB αποτελούνται από ένα δίκτυο απλών επιφανειών για αυτό και όταν πρόκειται να τις κατασκευάσουμε χρησιμοποιούνται το νέφος σημείων ή το πολυγωνικό πλέγμα. Για την βελτιστοποίησή τους εφαρμόζονται τρεις διαδικασίες: διατομές, προσαρμογή 3D καμπύλης σε σημεία και μεταβολή καμπύλης (cross section, 3D curve fitting from points και curve modification).

Κύριος σκοπός της φάσης επιφανειών NURBS είναι να κατασκευαστούν τετράπλευρες επιφάνειες που θα απαρτίζουν τις επιφάνειες NURBS. Αυτό μπορεί να γίνει, είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα, καθώς ενώ πολλά λογισμικά αναφέρουν ότι υπάρχει αυτόματη επιλογή της διαδικασίας αυτής, ανάλογα με την εκάστοτε σάρωση, εμφανίζονται αιχμηρές άκρες που δεν μπορούν να ακολουθήσουν την τετράπλευρη αυτή μορφή και αναγκάζουν τον χρήστη να εκτελέσει ο ίδιος τμηματικά την διαδικασία.

Οι πιο γνωστές εφαρμογές που παρατηρούνται στο στάδιο αυτό είναι οι: αναγνώριση καμπυλότητας, διόρθωση τμήματος, επαναχρησιμοποίηση τμήματος και ένωση τμημάτων NURBS (curvature detection, patch editing, patch template reuse και NURBS patch merging).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Η τεχνολογία τρισδιάστατης σάρωσης έχει σημειώσει τεράστια πρόοδο τα τελευταία 25 χρόνια ( Blais , 2004 ) και ειδικότερα, οι εξ αποστάσεως ψηφιοποιητές επιφανειών. Οι σαρωτές έχουν γίνει πιο φορητοί , προσιτοί και έχουν τη δυνατότητα να μπορούν να συλλάβουν σημεία γρηγορότερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Ένας σαρωτής λέιζερ χειρός συλλαμβάνει δεκάδες χιλιάδες σημεία ανά δευτερόλεπτο, με επίπεδο ακριβείας γύρω στα 40 μm. Αυτή η τεχνολογική πρόοδος καθιστά τους σαρωτές σε μεγάλο βαθμό αποδεκτούς και ευρέως χρήσιμους στην βιομηχανία και την ακαδημαϊκή κοινότητα με σκοπό τη λειτουργία τους για ένα ευρύ φάσμα εργασιών. Ως αποτέλεσμα , η ζήτηση τεχνολογιών γεωμετρικής μοντελοποίησης και εργαλείων λογισμικού που υποστηρίζουν την αποτελεσματική επεξεργασία μεγάλου μεγέθους σημειακών δεδομένων ( διάσπαρτα σημεία που αποκτήθηκαν από τρισδιάστατη σάρωση , που ονομάζονται όπως προαναφέρθηκε νέφος σημείων) και η μετατροπή τους σε χρήσιμες μορφές, όπως οι NURB ( μη ομοιόμορφες ορθολογικές B-spline) επιφάνειες , γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη.

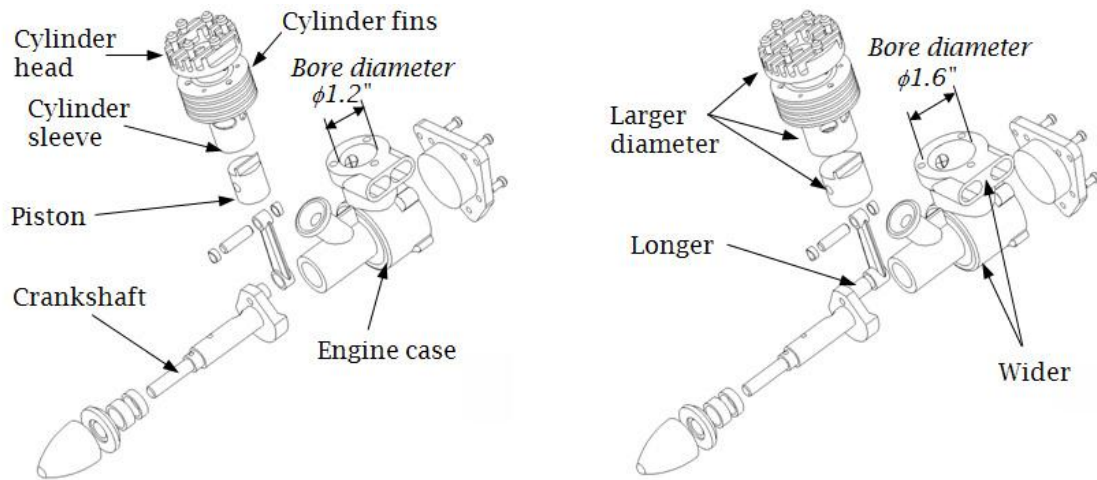
Η αυτοματοποιημένη τεχνολογία επιφανειών που μετατρέπει αυτόματα σύννεφα σημείων σε επιφανειακά NURB μοντέλα, έχει αναπτυχθεί και εφαρμόζεται σε εμπορικά εργαλεία, όπως είναι τα προγράμματα : Geomagic, Rapidform, PolyWorks, SolidWorks / Scan to 3D, μεταξύ πολλών άλλων. Τα μοντέλα επιφάνειας NURB εμπεριέχουν γεωμετρικές πληροφορίες που επαρκούν για να στηρίζουν ορισμένα είδη μηχανικών εργασιών στη συντήρηση, την επισκευή και την βιομηχανία αναδιαμόρφωσης, όπως είναι η επιθεώρηση και η βαθμονόμηση κομματιών. Τα επιφανειακά μοντέλα υποστηρίζουν την τρισδιάστατη μοντελοποίηση στον κλάδο της βιοτεχνολογίας και των ιατρικών εφαρμογών, όπως στις εργασίες των ( Changet et al , 2003 .; Sun et al , 2002 .; Liu et al , 2010 .; Lv et al , 2009), όπως επίσης και την αυτοκινητοβιομηχανία και τον αεροδιαστημικό σχεδιασμό ( Raja & Fernades 2008 ). Τα μοντέλα επιφανειών NURB τα οποία μετατρέπονται από σημειακά σύννεφα, έχουν σημειώσει τεράστια συμβολή στην ευρεία γκάμα των μηχανικών εφαρμογών. Ωστόσο, τα μοντέλα αυτά περιέχουν μόνο επιφανειακά μπαλώματα χωρίς την προσθήκη της σημασιολογίας και τοπολογίας, εγγενές χαρακτηριστικό στο οποίο βασίζεται η παραμετρική αναπαράσταση . Ως εκ τούτου, δεν είναι κατάλληλα για αλλαγές στον σχεδιασμό, όπως ισχύει στη μηχανική μερικής αναδιοργάνωσης, η οποία

περιλαμβάνει αλλαγές στο σχεδιασμό και απαιτεί τη χρήση παραμετρικών στερεών μοντέλων.

## 2.1 Σχεδιαστική παραμετροποίηση

Μία κοινή έρευνα προσέγγισης σχεδιαστικής διαφοροποίησης είναι η αλλαγή του μεγέθους και του σχήματος ενός μηχανικού συστήματος. Για να μπορέσουν να διαφοροποιηθούν τα μεγέθη των κομματιών ή του σχήματος με σκοπό την εξερεύνηση σχεδιαστικών διαφοροποιήσεων, τα κομμάτια και η σύνδεσή τους πρέπει να είναι επαρκώς παραμετροποιημένα για να αποδώσουν την σχεδιαστική πρόθεση. Αναφορικά με τις επιφάνειες των κομματιών, η σχεδιαστική παραμετροποίηση υπαινίσσεται την δημιουργία στερεών χαρακτηριστικών και σχετικών διαστάσεων ώστε όταν μια τιμή μίας διάστασης αλλάξει, το κομμάτι θα μπορεί να ανακατασκευαστεί ορθά και να «αποκαλύψει την σχεδιαστική πρόθεση». Στη φάση της σύνθεσης, η σχεδιαστική παραμετροποίηση εμπεριέχει τον προσδιορισμό των συνθέσιμων ζευγαριών και των σχετιζόμενων διαστάσεων μεταξύ των κομματιών. Όταν μία σύνθεση είναι πλήρως παραμετροποιημένη, μία αλλαγή στην τιμή μίας διάστασης μπορεί αυτόματα να αναπαραχθεί σε όλα τα κομμάτια που επηρεάζονται από αυτή.

Τα αλλαγμένα αυτά κομμάτια θα πρέπει να ανακατασκευαστούν επιτυχώς, και ταυτόχρονα, θα πρέπει να διατηρήσουν σωστές θέσεις και προσανατολισμό με σεβασμό στη μεταξύ τους σχέση, χωρίς παραβίαση στις συνδετικές τους αλληλεπιδράσεις ή εμφανίζοντας εισχώρηση ή μεγάλα κενά μεταξύ των κομματιών. Για παράδειγμα, σε μια μηχανή με μονό πιστόνι το οποίο φαίνεται στην εικόνα 12 (Silva & Chang, 2002), μία αλλαγή της περιφερειακής διαμέτρου της θήκης της μηχανής, θα αλλάξει όχι μόνο την γεωμετρία της ίδιας της θήκης, αλλά επίσης θα επηρεάσει και τα υπόλοιπα κομμάτια όπως το πιστόνι, το κυλινδρικό χιτώνιο, και ακόμα τον στροφαλοφόρο άξονα. Επιπλέον, όλα τα κομμάτια πρέπει να ανακατασκευαστούν επαρκώς και όλη η σύνδεση πρέπει να μένει άθικτη, μέσω των συνδεμένων ζευγαριών, και πιστά να αναπαραστήσουν τη σχεδιαστική πρόθεση.



Εικόνα 12 Ανάπτυγμα μηχανικής μονού πιστονιού (α) διάμετρος οπής 30.5 mm (β) νέα διάμετρος οπής 40.6 mm

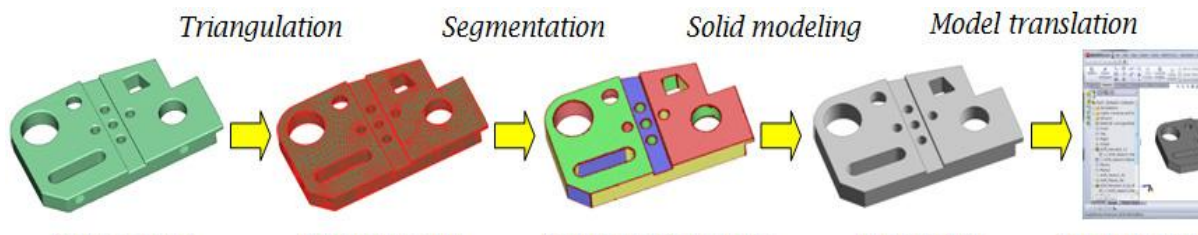
## 2.2 Σχηματική Μηχανική

Η συνολική διαδικασία της σχηματικής μηχανικής και του παραμετρικού στερεού μοντέλου φαίνεται στην εικόνα 13, στην οποία εμπεριέχονται οι τέσσερις κύριες φάσεις της. Οι φάσεις αυτές είναι οι εξής:

- Τριγωνοποίηση, η οποία μετατρέπει τα σημειακά δεδομένα σε πολυγωνικά πλέγματα
- Πολυγωνική διακριτοποίηση, η οποία διαχωρίζει ένα πολυγωνικό πλέγμα σε περιοχές βασισμένες στα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας της επιφάνειας, τα οποία αντιπροσωπεύουν
- Στερεή μοντελοποίηση, η οποία μετατρέπει διακριτοποιημένες περιοχές σε παραμετρικά στερεά μοντέλα
- Μετάφραση μοντέλου, όπου εξάγει στερεά κατασκευασμένα σε CAD συστήματα.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι είναι θεμιτή η ολοκληρωτική αυτοματοποίηση της διαδικασίας, εκτός της τρίτης φάσης. Αυτό συμβαίνει, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, καθώς στη φάση της πολυγωνικής διακριτοποίησης απαιτείται η διάδραση του σχεδιαστή, κυρίως για να ανακτήσει την πρωταρχική σχεδιαστική

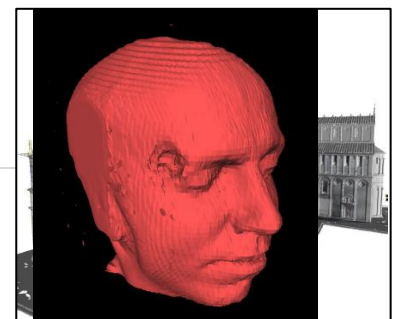
πρόθεση του αντικειμένου. Αυτές οι τέσσερις φάσεις θα αναλυθούν διεξοδικά στα παρακάτω κεφάλαια.



Εικόνα 13 Διαδικασία σχηματικής μηχανικής

## 2.3 Τριγωνοποίηση

Η μαθηματική θεωρία και οι υπολογιστικοί αλγόριθμοι αναφορικά με την τριγωνοποίηση έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό τις τελευταίες δεκαετίες. Το πολυγωνικό πλέγμα μπορεί να δημιουργηθεί επαρκώς και αυτόματα για μία δοθείσα ομάδα σημειακών δεδομένων. Η πρωτεύουσα ιδέα στην τριγωνοποίηση είναι αυτή της Delaunay τριγωνοποίησης. Εκτός από την Delaunay τριγωνοποίηση, υπάρχουν πολλοί γνωστοί αλγόριθμοι για τριγωνοποίηση, συμπεριλαμβανομένων των: «marching cubes» (Lorensen et al., 1987), «alpha shapes» (Edelsbrunner et al., 1983), «ball pivoting algorithm» (BPA) (Bernardini et al., 1999), «poisson surface reconstruction» (Kazhdan et al., 2006), «moving least squares» (Cuccuru et al., 2009), κ.λ.π. Μερικές εργασίες οι οποίες είχαν πολύ καλά αποτελέσματα αποτελούν τμήματα εργασιών όπως αυτή του Μιχελάντζελο στη Φλωρεντία Πιετά, που αποτελείτο από 14 εκατομμύρια τριγωνικά πλέγματα τα οποία παρήχθησαν από περισσότερα από 700 σκαναρίσματα (Bernardini et al., 1999), την ανακατασκευή του Καθεδρικού Ναού της Πίζας, από λέιζερ σκαναρίσματα περισσότερα των 154 εκατομμυρίων δειγμάτων (Cuccuru et al., 2009), και δομές κεφαλιών και εγκεφάλων (εσωτερικά) βγαλμένα από 150 μαγνητικές τομογραφίες, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο «marching cube» ( περίπου 150,000 τρίγωνα) όπως φαίνεται στην εικόνα 14.



**Εικόνα 14** Δείγμα εργασιών τριγωνοποίησης και σκαναρίσματος (α) Μιχαήλ- Άντζελο στη Φλωρεντία, Πιετά (β) Καθεδρικός ναός (γ) δομή κεφαλιού και εγκέφαλου

Αν και υφίστανται πολλοί αλγόριθμοι τριγωνοποίησης, δεν είναι όλοι επισημασμένοι. Τείνουν να παράγουν πλέγματα με μεγάλο αριθμό τριγώνων. Επιπλέον, αυτοί οι αλγόριθμοι υποθέτουν την τοπολογία του σχήματος στην οποία θα ανακατασκευαστούν με την τριγωνοποίηση, και οι παράμετροι τους συχνά επηρεάζουν το αποτέλεσμα και την σταθερότητα. Μερικοί αλγόριθμοι που αφορούν τα μετ' επεξεργάσιμα πλέγματα, όπως είναι ο αποδεκατισμός του πλέγματος (Schroeder, 1997; Hoppe et al., 1993), και η λείανση πλέγματος (Hansen et al., 2005; Li et al., 2009), αξίζει να σημειωθούν.

## 2.4 Διακριτοποίηση

Ένα από τα πιο σημαντικά βήματα στην Σχηματική Μηχανική είναι η πλεγματική διακριτοποίηση. Η διακριτοποίηση ομαδοποιεί τα αρχικά σημειακά δεδομένα ή πλέγματα σε υποσύνολα τα οποία υπόκεινται σε μια μόνο πρωτεύουσα επιφάνεια. Γενικά, η διακριτοποίηση είναι μια σύνθετη διαδικασία. Συχνά, επαναληπτικές τεχνικές αναπτυσσόμενων περιοχών έχουν εφαρμοστεί (Besl & Jain, 1988; Alrashdan et al., 2000; Huang & Meng, 2001). Μερικοί χρησιμοποιούν μη επαναληπτικές μεθόδους, που ονομάζονται άμεσης διακριτοποίησης, (Várady et al., 1998), όπου είναι πιο αποτελεσματικές. Γενικά, η διαδικασία διακριτοποίησης, όπως η (Vanco & Brunnnett, 2004) εμπεριέχει έναν γρήγορο αλγόριθμο  $k$ - κοντινότερων γειτόνων και μια εκτίμηση πρώτης και δεύτερης σειράς επιφανειακών ιδιοτήτων. Η δεύτερη σειρά διακριτοποίησης βασίζεται σε κανονικά διανύσματα και καμπυλώσεις και παρέχει μία επαρκή βάση για την διακριτοποίηση απλών αλγεβρικών επιφανειών. Το αποτέλεσμα της διακριτοποίησης του πλέγματος είναι αντικείμενο διαφόρων σημαντικών παραμέτρων, όπως είναι η τιμή  $k$  (αριθμός γειτονικών σημείων που έχουν επιλεγεί για την εκτίμηση επιφανειακών ιδιοτήτων), και περιγράφει διαφορές στα κανονικά διανύσματα και στις καμπυλότητες (επίσης ονομάζεται κατώφλι ευαισθησίας) όπου ομαδοποιεί τα σημεία δεδομένων ή τα πλέγματα. Στην εικόνα 15, παρουσιάζεται ένα κατώφλι υψηλής ευαισθησίας, που οδηγεί

σε διεσπαρμένες περιοχές οι οποίες αντιπροσωπεύουν την τοπολογία του αντικειμένου. Οι περισσότεροι από τους αλγορίθμους διακριτοποίησης συνδυάζονται με την εφαρμογή της μεθόδου «επιφανειακής τοποθέτησης ή surface fitting», όπου εφαρμόζει μια βέλτιστη πρότυπη επιφάνεια ορθού τύπου σε κάθε διακριτοποιημένη περιοχή. Είναι σημαντική η ιεράρχηση των τύπων των επιφανειών ανάλογα με τη σειρά γεωμετρικής πολυπλοκότητας, όμοιο με αυτό του σχήματος της εικόνας 15 (Várady et al., 1997). Τα αντικείμενα αυτά, είναι οριοθετημένα με σχετικά μεγάλες αρχικές επιφάνειες. Οι αρχικές επιφάνειες μπορεί να συναντηθούν μεταξύ τους σε αιχμηρές ακμές ή μπορεί να είναι δευτερεύουσες ή ομοιογενοποιημένες επιφάνειες, οι οποίες ίσως προσφέρουν ομαλή μετάβαση μεταξύ τους.

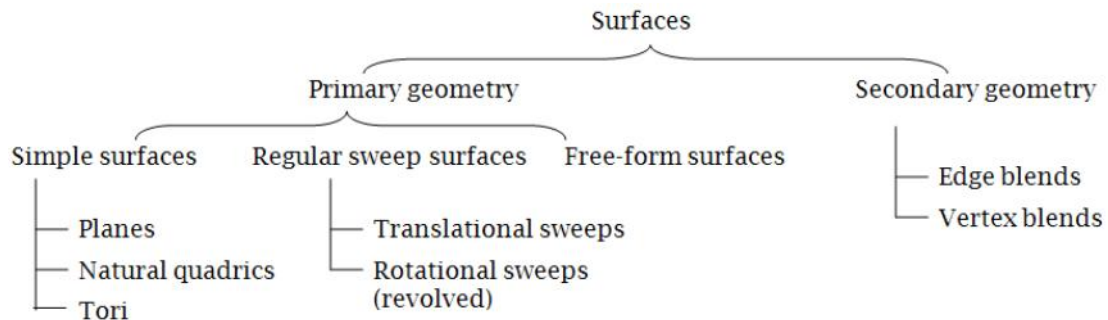


**Εικόνα 15** Παράδειγμα πλεγματικής διακριτοποίησης (α) αντικείμενο διακριτοποιημένο σε πολλές μικρές Περιοχές εξαιτίας του κατωφλιού ευαισθησίας (β) Περιοχές καθορισμένες με χαμηλό κατώφλι ευαισθησίας

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η διακριτοποίηση με βάση τα χαρακτηριστικά παρέχει μία επαρκή βάση για την κατηγοριοποίηση απλών αλγεβρικών επιφανειών. Οι αλγεβρικές επιφάνειες όπως είναι το επίπεδο και τα φυσικά σχήματα (σφαίρες, κύλινδροι και κώνοι), είναι έτοιμες να εφαρμοστούν με τέτοιες περιοχές. Πολλές μέθοδοι, συμπεριλαμβανομένων των (Marshall et al., 2004), που υποστηρίζουν τέτοιες εφαρμογές, χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία «least square fitting».

Επιπρόσθετα, στις πρωταρχικές αλγεβρικές επιφάνειες οι πιο γενικές επιφάνειες με πιο απλή κινηματική παραγωγή, όπως είναι οι «επιφάνειες προερχόμενες από σάρωση», οι «επιφάνειες εκ περιστροφής», οι «προεκτεταμένες επιφάνειες», οι «επιφάνειες σωλήνων», είναι άμεσα συμβατές με CAD μοντέλα. Η εφαρμογή τέτοιων επιφανειών με διακριτοποιημένα σημειακά δεδομένα ή πλέγματα είναι βασική για την ανακατασκευή επιφανειακών μοντέλων και την υποστήριξη της παραμετροποίησης (Lukács et al., 1998). Σε μερικές εφαρμογές, όχι όλες οι διακριτοποιημένες περιοχές μπορούν να εφαρμοστούν σε πρωταρχικές ή συμβατές με Cad επιφάνειες χωρίς προκαθορισμένα περιθώρια λάθους. Αυτές οι εναπομείνουσες περιοχές κατηγοριοποιούνται ως ελεύθερης μορφής επιφάνειες,

όπου καμία γεωμετρική ή τοπολογική συχνότητα δεν μπορεί να αναγνωριστεί. Αυτές μπορεί να είναι μία συλλογή από πλέγματα ή πιθανώς περικομμένα πλέγματα και συχνά εφαρμόζονται με NURB επιφάνειες. Πολλοί αλγόριθμοι και μέθοδοι έχουν προταθεί για να υποστηρίξουν NURB επιφάνειες όπως είναι η (Tsai et al., 2009).



Εικόνα 16 Η ιεραρχία των επιφανειών

## 2.5 Στερεά Μοντελοποίηση

Η στερεά μοντελοποίηση είναι η λιγότερο ανεπτυγμένη διαδικασία της Σχηματικής Μηχανικής, αναφορικά με την αντίστροφη μηχανική. Η συνοριακή αναπαράσταση (Boundary representation ή B-rep) και η παρουσίαση βάση των χαρακτηριστικών είναι δύο βασικές μέθοδοι παρουσίασης της αντίστροφης μηχανικής. Έχουν υπάρξει μερικές μέθοδοι, όπως είναι η (Várady et al., 1998), οι οποίες προτείνουν την αυτόματη κατασκευή B-rep από νέφη σημείων ή τριγωνικά πλέγματα. Ορισμένες από αυτές τις μεθόδους, συγκεντρώνονται στην κατασκευή αναγνώρισης χαρακτηριστικών για διαδικασίες προγραμματιστικού σκοπού, όπως είναι η (Thompson, 1999). Μία ελπιδοφόρα ανάπτυξη των τελευταίων ετών ήταν η αναγνώριση γεωμετρικών χαρακτηριστικών (GFR - Geometric Features Recognition), η οποία αυτόματα αναγνωρίζει στερεά χαρακτηριστικά ενσωματωμένα στα μοντέλα συνοριακής αναπαράστασης. Ωστόσο, καμία από τις μεθόδους δεν είναι ικανή να αυτοματοποιήσει πλήρως την διαδικασία παραγωγής και να παράγει ολοκληρωμένα παραμετρικά στερεά μοντέλα καθώς αναμένεται κάποιο ποσοστό χειρωνακτικής εργασίας.

## 2.6 Συνοριακή Αναπαράσταση

Με βάση τις διαχωρισμένες περιοχές, κατασκευάζεται ένα γράφημα γειτονικών περιοχών. Αυτή η γραφική παράσταση απεικονίζει την πλήρη τοπολογία και χρησιμεύει ως βάση για την κατασκευή του τελικού B-*rep* μοντέλου, που ονομάζεται επίσης «ραμμένο μοντέλο». Στο μοντέλο αυτό, οι διαφορετικές οριοθετημένες περιοχές, προσκολλάνε μεταξύ τους κατά μήκος των κοινών ακμών τους για να σχηματίσουν ένα αεροστεγές μοντέλο επιφανείας.

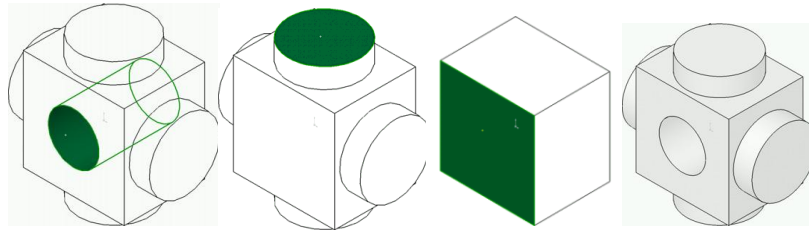
Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν τρία βήματα που εμπλέκονται στην κατασκευή μοντέλων B-*rep*: «flattening» - εξομάλυνση, «edges and vertices calculations» - υπολογισμοί ακμών και κορυφών, και «stitching» - ράψιμο (Varady et al., 1998). Στο βήμα της εξομάλυνσης, οι περιοχές επεκτείνονται προς τα έξω έως ότου ταξινομηθούν όλα τα τρίγωνα. Αυτό το βήμα είναι απαραίτητο ώστε να αφαιρεθούν όλα τα κενά μεταξύ των περιφερειών. Αιχμηρές άκρες μπορούν να υπολογιστούν με τη χρήση επαναληπτικών επιφανειακών τομών, καθώς επίσης προσδιορίζονται και οι κορυφές όπου τρεις επιφάνειες συναντώνται. Επίσης, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής κατασκευάζεται ένα πλήρες δέντρο τοπολογίας B-*rep*. Ένα μοντέλο B-*rep* μπορεί στη συνέχεια να δημιουργηθεί, ράβοντας μαζί τις όψεις, τις ακμές και τις κορυφές. Αυτή η λειτουργία συνήθως υποστηρίζεται από τους περισσότερους πυρήνες στερεάς μοντελοποίησης.

## 2.7 Αναγνώριση Στερεών Χαρακτηριστικών

Τα μοντέλα B-*rep* δεν βασίζονται σε χαρακτηριστικά. Για να μετατραπεί ένα μοντέλο B-*rep* σε στερεό μοντέλο που βασίζεται στα χαρακτηριστικά, τα ενσωματωμένα στερεά χαρακτηριστικά πρέπει να αναγνωριστούν, και πρέπει να δημιουργηθεί ένα δέντρο χαρακτηριστικών που να περιγράφει την ακολουθία της δημιουργίας των χαρακτηριστικών.

Ένας από τις πιο επιτυχημένες αλγορίθμους που αφορά την αναγνώριση γεωμετρικών χαρακτηριστικών, έχει προταθεί από το (Venkataraman et al., 2001). Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί μια απλή διαδικασία τεσσάρων βημάτων. Πρώτον, απλοποιεί τις εισαγόμενες όψεις, δεύτερον, αναλύει τις όψεις για συγκεκριμένη γεωμετρία χαρακτηριστικών, τρίτον, καταργεί τα αναγνωρισμένα χαρακτηριστικά και ανανεώνει το μοντέλο και τέταρτον επιστρέφει στο δεύτερο βήμα έως ότου όλα τα χαρακτηριστικά αναγνωριστούν. Η

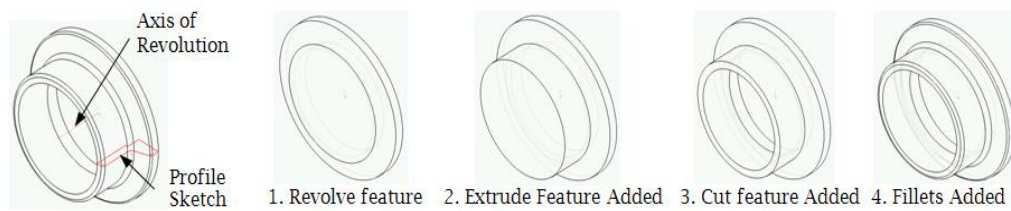
διεργασία απεικονίζεται στην Εικόνα 17. Όταν όλα τα δυνατά χαρακτηριστικά αναγνωριστούν, αντιστοιχίζονται σε ένα νέο στερεό μοντέλο του τμήματος (Εικόνα 17-δ) που είναι ένα παραμετρικό μοντέλο το οποίο χαρακτηρίζεται από ένα δέντρο χαρακτηριστικών. Αυτό το δέντρο καθορίζει την ακολουθία της αναπαραγωγής των χαρακτηριστικών (ή την αναδόμηση του μοντέλου).



**Εικόνα 17** Εικονογράφηση του αλγορίθμου GFR (α) εισάγεται το μοντέλο επιφανείας με την επιφάνεια της τρυπιάς επιλεγμένη (β) η τρυπά αναγνωρίζεται και αφαιρείται, επιλέγεται η διέλαση της όψης του κυλίνδρου (γ) αναγνώριση της εξώθησης του κυλίνδρου

Η μέθοδος Venkataraman εμπορικοποιήθηκε πρόσφατα από τη Geometric Software Solutions , Ltd (GSSL), και εφαρμόστηκε σε μια σειρά από πακέτα CAD, συμπεριλαμβανομένων των SolidWorks και CATIA, ικανά να αναγνωρίζουν τα βασικά χαρακτηριστικά, όπως είναι η εξώθηση, η περιστροφή, και πιο πρόσφατα η σάρωση. Αυτή η δυνατότητα έχει εφαρμοστεί με επιτυχία κυρίως για την στήριξη και την μεταφορά των στερεών μοντέλων μεταξύ των πακέτων CAD, στην οποία δεν είναι σκοπός μόνο η δημιουργία γεωμετρικών οντοτήτων IGES, (Initial Graphics Exchange Standards), αλλά επίσης σκοπός είναι η μετάφραση παραμετρικών χαρακτηριστικών.

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αποκαλύπτονται στα εμπορικά λογισμικά GFR είναι η αναφορά των σχεδιαστικών προθέσεων. Για παράδειγμα, η φλάντζα ενός αεροπλάνου, αναγνωρίζεται ως ένα ενιαίο περιστρεφόμενο χαρακτηριστικό, δηλαδή ένα σκίτσο το οποίο έχει περιστραφεί γύρω από έναν άξονα , όπως φαίνεται στην εικόνα 18. Ωστόσο, οι υπάρχουσες αυτές εφαρμογές των λογισμικών αυτών, δεν είναι έχουν αναπτυχθεί ακόμα μεγάλο βαθμό. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 18, χωρίς την επαρκή αλληλεπίδραση του χρήστη, το ενιαίο σκίτσο της φλάντζας μπορεί να αναγνωριστεί ως τέσσερα ή περισσότερα ξεχωριστά χαρακτηριστικά. Ενώ τα τελικά στερεά μέρη είναι ουσιαστικά τα ίδια, οι παράμετροί τους δεν είναι. Μια τέτοια εφαρμογή μπορεί να μην είναι επιθυμητή για την ανάκτηση του νοήματος της των σχεδιαστικών προθέσεων ενός αντικειμένου.



**Εικόνα 18 Χαρακτηριστικό της αναγνώρισης της φλάντζας των σωληνώσεων του αεροπλάνου (α) ενιαίο περιστροφικό χαρακτηριστικό (β) χαρακτηριστικά : εξώθηση, περιστροφή, τομή, και προσθήκη φιλέτων**

## 2.8 Σχεδίαση -Παραμετροποίηση

Ένα παραμετρικό στερεό μοντέλο που βασίζεται στα χαρακτηριστικά, αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία : ένα δέντρο χαρακτηριστικών και τα πλήρως παραμετροποιημένα σκίτσα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή στερεών χαρακτηριστικών. Ένα πλήρως παραμετροποιημένο σκίτσο σημαίνει ότι η όψη του σκίτσου είναι πλήρως περιορισμένη ως προς τις διαστάσεις του, έτσι ώστε η μεταβολή της τιμής μίας διάστασης να συμφωνεί με τις προθέσεις του σχεδιασμού, όπως αναμενόταν από τον σχεδιαστή. Γενικά, δεν υπάρχει μέθοδος που να προτείνεται ή να προσφέρεται, η οποία να αυτοματοποιεί πλήρως τη διαδικασία. Τέτοιες δυνατότητες προσφέρονται από υπάρχοντα εμπορικά εργαλεία, όπως το πρόγραμμα Rapidform, το οποίο υποστηρίζεται από τους σχεδιαστές για να δημιουργήσουν πλήρως διαδραστικά παραμετροποιημένα σκίτσα, τα οποία ανταποκρίνονται με ακρίβεια στα σημειακά δεδομένα και το οποίο διευκολύνει πολύ τη προσπάθεια της στερεάς μοντελοποίησης μοντελοποίησης.

## 2.9 Εξαγωγή Στερεού Μοντέλου

Δεδομένου ότι οι περισσότερες από τις πολλά υποσχόμενες δυνατότητες της σχηματικής μηχανικής δεν προσφέρονται σε πακέτα CAD, τα στερεά μοντέλα που κατασκευάζονται σε λογισμικά αντίστροφης μηχανικής, θα πρέπει να εξάγονται για την ενσωμάτωσή τους σε πακέτα CAD προκειμένου να υποστηρίζουν κοινές μηχανικές εργασίες. Οι συμβατικές ανταλλαγές στερεών μοντέλων μέσω των προδιαγραφών, όπως τα IGES ή τα STEP, είναι ανεπαρκή από τη μεριά των παραμετρικών πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων των στερεών χαρακτηριστικών, του δέντρου χαρακτηριστικών, των περιορισμών των σκίτσων και διαστάσεων, καθώς αποτυγχάνει στις ανταλλαγές των δεδομένων. Στην αναγνώριση γεωμετρικών χαρακτηριστικών που είναι ενσωματωμένα σε μοντέλα B-rep, εξακολουθεί να υφίσταται ένα επιπλέον βήμα που συχνά είναι υψηλού φόρτου εργασίας γεγονός που αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για περαιτέρω ενασχόληση του χρήστη.

## 2.10 Λογισμικό

Μετά από εκτεταμένη έρευνα και ανάπτυξη κατά την τελευταία δεκαετία, τα εργαλεία λογισμικού για την αντίστροφη μηχανική έχουν σημειώσει εντυπωσιακή πρόοδο. Σε γενικές γραμμές, αυτά τα εργαλεία μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες χαρακτηριστικών που βασίζονται σε μεθόδους αντίστροφης μηχανικής. Τα πακέτα CAD που βασίζονται στα χαρακτηριστικά, όπως είναι τα Pro / E, το SolidWorks, και το CATIA, τονίζουν την ανάκτηση των αρχικών σχεδιαστικών προθέσεων των κομματιών. Σύμφωνα με τις τυπικές δυνατότητες των CAD, όπως είναι το σκίτσο και η εξώθηση, οι σχεδιαστές είναι σε θέση να δημιουργήσουν αντικείμενα με βάση την ανάκτηση των προθέσεων του σχεδιασμού. Αντίθετα, πακέτα όπως είναι τα Geomagic, Rapidform και Paraform, επικεντρώνονται στην ανασυγκρότηση της γεωμετρίας των αντικειμένων από σαρωμένα δεδομένα, συνήθως με τη μορφή των επιφανειών NURB. Πακέτα που βασίζονται στις αρχές της αντίστροφης μηχανικής, προσφέρουν εξαιρετικές δυνατότητες στην επεξεργασία σημείων, δημιουργώντας πλέγματα, και τη δημιουργία NURB επιφανειών. Επιπλέον, η απόδοση των δεδομένων που προσφέρεται, είναι πολύ καλύτερη από ό,τι προσφέρουν τα λογισμικά με βάση το CAD, στο πλαίσιο της αντίστροφης μηχανικής.

Στη συνέχεια εξετάζονται δύο βασικές μηχανικές δυνατότητες, η διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας και η παραμετρική στερεά μοντελοποίηση από ένα νέφος σημείων ή ένα πλέγμα πολυγώνων. Ωστόσο, η χειρωνακτική κατασκευή καμπυλών και επιφανειών από σημειακά σύννεφα ή πολυγωνικά πλέγματα είναι επίπονη και εξαιρετικά χρονοβόρα. Είναι σημαντικό ένα λογισμικό αντίστροφης μηχανικής να μπορεί να προσφέρει αυτόματη ανάδυση, δηλαδή να επιτρέπει τη δημιουργία συμπαγών, με υψηλής ακρίβειας επιφάνειες και υψηλής ποιότητας μοντέλα, σε λίγα μόνο στάδια. Από την άλλη πλευρά, η κατασκευή στερεών μοντέλων πρέπει να διεξάγεται με διαδραστικό τρόπο, επιτρέποντας στους σχεδιαστές να ανακτήσουν τις αρχικές προθέσεις του σχεδιασμού. Τα λογισμικά αυτά πρέπει να παρέχουν επαρκείς δυνατότητες ώστε να βοηθήσουν τους σχεδιαστές να σκιαγραφήσουν αποτελεσματικά ενότητες και να δημιουργήσουν στερεά χαρακτηριστικά, χωρίς να χρειάζεται η άμεση επαφή με το νέφος σημείων ή τα πολυγωνικά πλέγματα. Βεβαίως, το λογισμικό θα πρέπει να είναι σταθερό και ικανό να αντέξει μαζικά δεδομένα. Εκατομμύρια σημεία δεδομένων, χρειάζονται τεράστιους πόρους πληροφορίας για να επεξεργαστούν. Για την εμφάνιση των εντολών μεγέθυνσης και περιστροφής του αντικειμένου στην οθόνη, για παράδειγμα, μπορεί να χρειαστεί αρκετό χρόνο για το λογισμικό για να απαντήσει. Η ταχύτητα είναι το κλειδί για τα σύγχρονα λογισμικά που βασίζονται στη λογική της αντίστροφης μηχανικής. Σε γενικότερο επίπεδο, βρισκόμαστε στη διαδικασία εύρεσης λογισμικού το οποίο να προσφέρει αυτόματη εφαρμογή επιφανειών και δυνατότητες παραμετρικής μοντελοποίησης με γρήγορη και σταθερή απόδοση.

Επιπλέον, στον Πίνακα 1 παρατίθενται διάφορα χαρακτηριστικά για συγκεκριμένα λογισμικά. Τα κριτήρια αυτά κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις ομάδες, ( 1 ) γενικές ικανότητες, όπως η ταχύτητα, ( 2 ) παραγωγή NURB μοντέλων, συμπεριλαμβανομένων των αυτόματων εφαρμογών επιφανειών και της δυνατότητας επεξεργασίας γεωμετρικών οντοτήτων, ( 3 ) δημιουργία στερεών μοντέλων, και ( 4 ) τη χρηστικότητα. (Chang, 2012)

G=good, F=fair, P=poor, U=unknown, N=Not available	Geomagic Studio	Rapidform XOR3	SolidWorks	Wildfire	CATIA	Paraform	ICEM	Imageware	CopyCAD
General capabilities:									
Speed: How quickly can surface fitting be done?	G	G	P	P	F	G	F	G	G
Data/file size that the software can process	G	G	P	P	G	G	G	G	G
Screen refresh resolution	G	G	P	P	G	G	G	G	G
Output file format: transferred to other software	G	G	G	G	G	G	G	G	G
Recognition of geometry types (such as circles)	G	G	P	N	F	P	G	G	F
Generation of NURB models									
Auto Surfacing	G	G	P	N	N	N	N	N	N
Modification of points	G	G	P	P	G	G	G	G	G
Hole filling	G	G	G	P	G	G	G	G	G
Modification of spline curves	G	G	P	P	G	G	G	G	G
NURB surfaces deviation analysis	G	G	G	G	G	G	G	G	G
How complicated shapes can be generated?	G	G	F	P	G	G	G	G	G
Surface smoothness	G	G	F	F	G	G	G	G	G
Generation of solid models									
Parametric: Can parametric solid models be generated?	P	G	F	P	F	N	P	F	U
Section sketch	F	G	P	N	P	N	P	G	U
Dimensions and geometric constraints on sketch	P	F	P	N	U	N	U	U	U
Level of human interaction with the geometry required	F	G	P	P	P	N	U	F	U
Is the generated solid model easy to modify?	P	G	P	P	P	N	U	F	U
Parametric model export	P	G	P	P	P	N	U	U	U

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά διαφόρων λογισμικών

Από τον Πίνακα 1, παρατηρήθηκε ότι τα περισσότερα λογισμικά προσφέρουν βασικές δυνατότητες για την επεξεργασία και το χειρισμό σημείων, πολυγωνικών πελμάτων, NURB καμπύλων και επιφανειών. Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι τόσο το Geomagic όσο και το Rapidform υποστηρίζουν την αυτοματοποίηση επιφανειών. Η στερεά μοντελοποίηση με τη χρήση σαρωμένων δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί από κοινού με τη δημιουργία

τομών, ακολουθώντας τη δυνατότητα δημιουργίας βημάτων παρόμοιων με των CAD πακέτων. Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, το Rapidform είναι το μόνο λογισμικό που υποστηρίζει εξολοκλήρου την παραμετρική στερεά μοντελοποίηση. Για περαιτέρω αξιολογήσεις, επιλέχθηκαν τα προγράμματα Geomagic και Rapidform, όπως και μερικά CAD πακέτα.

## 2.11 Παραδείγματα Αξιολογήσεων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο κύκλοι αξιολογήσεων. Ο πρώτος κύκλος εστιάζει στην ανακατασκευή επιφανειών, και ο δεύτερος κύκλος στη μοντελοποίηση παραμετρικών στερεών. Μετά την αποτύπωση πιο προηγμένων λογισμικών, όπως αναφέρθηκε, επιλέχθηκαν τέσσερα υποψήφια εργαλεία λογισμικού για άμεση αξιολογήση. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, όλα τα εργαλεία υποστηρίζουν την κατασκευή επιφανειών και συμπαγών μοντέλων, εκτός από το Wildfire, το οποίο δεν υποστηρίζει παραμετρική στερεά μοντελοποίηση με τη χρήση σαρωμένων δεδομένων.






	Surface Reconstruction	Parametric Modeling
Geomagic Studio v. 11	Shape Phase	Fashion Phase
Rapidform XOR3	Auto Surfacing	Solid/ Surface Primitives
SolidWorks 2009	Scan to 3D	Scan to 3D
Wildfire v. 4	Facet + Restyle	Not Available

Πίνακας 2: Λογισμικά για άμεσες αξιολογήσεις

Ο πρώτος κύκλος αξιολογήσεων, επικεντρώθηκε στην ανακατασκευή επιφανειών και τη σταθερότητα του λογισμικού. Στον δεύτερο κύκλο, δίνεται προσοχή στην παραμετρική στερεά μοντελοποίηση, και αναζητάτε η αναγνώριση των αρχικών τους χαρακτηριστικών (όπως ο κύλινδρος, ο κώνος, κλπ.), η παραμετρική μοντελοποίηση, και η εξαγωγή μοντέλων σε πακέτα CAD.

Επιλέχθηκαν πέντε παραδείγματα για αξιολόγηση, όπως αναγράφονται παρακάτω στον Πίνακα 3. Μεταξύ των πέντε παραδειγμάτων, δυο δίδονται ως πολυγωνικά πλέγματα και τα άλλα τρία ως σύννεφο σημείων. Αυτά τα πέντε μέρη αντιπροσωπεύουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Μέρη όπως το μοντέλο 1, ο σωλήνας (μοντέλο 2) και η κλειδαριά (μοντέλο 4) είναι πιο παραδοσιακά μηχανικά μέρη με σύνηθες στερεά χαρακτηριστικά. Σε

αντίθεση, το φύλο μετάλλου (Μοντέλο 3) είναι ένα διαμορφωμένο τμήμα με μεγάλη καμπυλότητα, είναι βασικά ένα αντικείμενο ελεύθερης μορφής.

	Model 1 Block	Model 2 Tubing	Model 3 Sheetmetal	Model 4 Blade	Model 5 Door Lock
Model Pictures					
Scanned data	634,957 points	589,693 polygons	134,089 polygons	252,895 points	207,282 points
Dimensions	5×3×0.5 (inch)	125×93×17 (mm)	16×10×9 (inch)	2×3×4 (inch)	7×3×2 (inch)

Πίνακας 3: Επιλεγμένα παραδείγματα αξιολογήσεων

## 2.12 Πρώτος κύκλος αυτόματης εφαρμογή επιφανειών

Στον πρώτο κύκλο αξιολόγησης, παρουσιάζεται η αξιολόγηση σχετικά με το κατά πόσο το εκάστοτε λογισμικό είναι σε θέση να υποστηρίξει την αυτόματη ανάδυση, δηλαδή, την αυτόματη κατασκευή υψηλής ποιότητας μοντέλα επιφανειών, από τα σαρωμένα δεδομένα. Ψάχνουμε για το επίπεδο του αυτοματισμού, τη σταθερότητα του λογισμικού, καθώς και τις δυνατότητες για την επεξεργασία γεωμετρικών οντοτήτων (όπως τα σημεία, τα πλέγματα, και τα NURB μπαλώματα).

Με βάση τις αξιολογήσεις, διαπιστώθηκε ότι όλα τα εργαλεία λογισμικού που αξιολογήθηκαν είναι σε θέση να υποστηρίξουν μοντελοποίηση επιφανειών είτε πλήρως αυτόματα είτε κοντά στην πλήρη αυτοματοποίηση. Ο Πίνακας 4 συνοψίζει τα αποτελέσματα των δοκιμών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το Geomagic είναι το μόνο λογισμικό που είναι σε θέση να δημιουργήσει αυτόματα μοντέλα επιφάνειας για όλα τα πέντε παραδείγματα, χωρίς τις παρεμβάσεις του χρήστη, ενώ το Rapidform έρχεται δεύτερο με μικρή διαφορά. Το Rapidform είναι σε θέση να κατασκευάσει μοντέλα επιφάνειας για δύο από τα πέντε παραδείγματα αυτόματα. Για τα υπόλοιπα τρία παραδείγματα, απαιτούνται μόνο μικρές παρεμβάσεις ή επεξεργασία από το χρήστη. Ωστόσο, το SolidWorks και το Wildfire είναι σε θέση να υποστηρίξουν μόνο μερικά από τα παραδείγματα, ακόμη και μετά από πολλές ώρες. Χρειάστηκε πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα με τη χρήση του SolidWorks και του Wildfire να επεξεργαστούν ορισμένα από τα παραδείγματα, και ακόμη χωρίς την επίτευξη ουσιαστικών αποτελεσμάτων. Το

μέγεθος των σαρωμένων δεδομένων παρουσιάζει επίσης προβλήματα για το SolidWorks και το Wildfire . Είναι σε θέση να υποστηρίξουν μόνο μέχρι περίπου 300.000 σημειακά δεδομένα. Το λογισμικό γίνεται ασταθές κατά το χειρισμό περισσότερων σημειακών δεδομένων .

	Model 1 Block	Model 2 Tubing	Model 3 Sheetmetal	Model 4 Blade	Model 5 Door Lock
Geomagic Studio v.11	Completed (Automated) 	Completed (Automated) 	Completed (Automated) 	Completed (Automated) 	Completed (Automated) 
Rapidform XOR3	Completed (Automated) 	Completed (Partial-auto) 	Completed (Partial-auto) 	Completed (Partial-auto) 	Completed (Automated) 
SolidWorks 2009	Fail (Gaps remained, shown in red) 	Software crashed 	Fail (Gaps remained, shown in red) 	Completed (Automated) 	Software crashed 
Wildfire v.4	Software Crashed 	Software crashed 	Completed (Automated) 	Completed (Automated) 	Software crashed 

Πίνακας 4: Αποτελέσματα του πρώτου κύκλου αξιολογήσεων

Ένα σημαντικό εύρημα που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι η ικανότητα του κατακερματισμού των πλεγμάτων είναι μόνο διαθέσιμο στα προγράμματα Geomagic και Rapidform . Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει στους χρήστες να προσαρμόσουν ένα δείκτη ευαισθησίας για να μεταβάλλουν το μέγεθος των τμηματικών περιοχών, έτσι ώστε οι περιοχές να αντιστοιχούν στενά με τις διακριτές επιφάνειες του αντικειμένου. Η κατάτμηση είναι άκρως σημαντική, δεδομένου ότι τα σωστά διαστήματα κατάτμησης των περιοχών, διευκολύνουν την επιφάνεια τοποθέτησης και αναγνώρισης πρότυπων χαρακτηριστικών.

Με βάση τα παραπάνω ευρήματα, δεν θα γίνει περαιτέρω σε συζήτηση αναφορικά με τα προγράμματα SolidWorks και Wildfire λόγω της κακής απόδοσης τους στον πρώτο κύκλο αξιολόγησης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος Geomagic και του Rapidform για επιλεγμένα παραδείγματα ώστε να παγιωθούν τα συμπεράσματά μας .

### 2.12.1 Geomagic Studio

Το Geomagic επιδεικνύει μια εξαιρετική ικανότητα κατασκευής επιφανειών με υψηλό επίπεδο αυτοματοποίησης . Με βάση τις εκτιμήσεις, μπορούν να δημιουργηθούν άριστα μοντέλα επιφανειών NURB για όλα τα πέντε παραδείγματα από τις αντίστοιχες σαρώσεις σε λιγότερο από 30 λεπτά. Επιπλέον, το Geomagic προσφέρει διαδραστικές δυνατότητες που επιτρέπουν στους χρήστες να επεξεργαστούν με αυτόματο τρόπο ή να δημιουργήσουν γεωμετρικές οντότητες με σχετική ευκολία. Για παράδειγμα , η φάση σημείων του Geomagic, βοηθά τους χρήστες να επεξεργαστούν τα σημεία , να μειώσουν το θόρυβο των δεδομένων, και να προσαρμόσουν τη δειγματοληψία για να μειωθεί ο αριθμός των σημειακών δεδομένων. Μετά από τις εργασίες επεξεργασίας σημείων, τα πολυγωνικά πλέγματα δημιουργούνται με τη χρήση της εντολής Wrap . Στην πλεγματοτική φάση , αυτοτεμνόμενες , ιδιαίτερα τσαλακωμένες ακμές ( άκρα με οξεία γωνία μεταξύ των κανονικών διανυσμάτων των δύο γειτονικών πολυγωνικών εδρών ), αιχμές και μικρές συστάδες πολυγώνων, μπορεί να εντοπιστούν και να επισκευαστούν αυτόματα από το Mesh Doctor . Τα Mesh εργαλεία επεξεργασίας όπως είναι η εξομάλυνση πολυγωνικών πλεγμάτων, ο καθορισμός αιχμηρών άκρων, η αλλοίωση και το γέμισμα τρυπών, παρέχουν επίσης την υποστήριξη στους χρήστες να δημιουργήσουν εύκολα ποιοτικά πολυγωνικά πλέγματα. Μόλις δημιουργηθεί ένα ποιοτικό πλέγμα, στη φάση Shape, δημιουργούνται επιφάνειες NURB οι οποίες ταιριάζουν καλύτερα με το πολυγωνικό πλέγμα.

Το στάδιο Auto Surface αποτελείται από ένα σύνολο βημάτων που κατασκευάζει αυτόματα μοντέλα. Τα βήματα αυτά περιλαμβάνουν το Detect Contour , Construct Patches , Construct Grids και Fit Surfaces . Πριν από τη χρήση του Auto Surface , οι χρήστες πρέπει να εξετάζουν την ποιότητα της επιφάνειας του μοντέλου, για παράδειγμα, προσδιορίζοντας την απαιτούμενη αντοχή και τη μέθοδο , με ή χωρίς την κατάτμηση των πλεγμάτων. Για το παράδειγμα του πρώτου μοντέλου, θέτετε την ανοχή της επιφάνειας έως 0,01 ίντσες και κατασκευάζετε μοντέλο NURB επιφάνειας με την επιλογή Detect

Contours ( που εκτελεί τμηματοποίηση του mesh ) χρησιμοποιώντας auto surfacing. Η μέση απόκλιση του μοντέλου NURB είναι 0,0 ίντσες και η τυπική απόκλιση είναι 0,0003 ίντσες. Η απόκλιση ορίζεται ως η μικρότερη απόσταση μεταξύ του πολυγωνικού πλέγματος και της επιφάνειας NURB . Να σημειωθεί ότι στο σχήμα 8δ , η πράσινη περιοχή δείχνει απόκλιση κοντά στο 0, και η κόκκινη κηλίδα δείχνει τη μέγιστη απόκλιση , η οποία είναι περίπου 0,017 ίντσες σε αυτή την περίπτωση.



**Εικόνα 19** Αποτελέσματα παραδείγματος του μπλοκ με τη χρήση Geomagic (α) μοντέλο σημείου θόλωσης (β) πολυγωνικό πλέγμα (γ) μοντέλο Nurb επιφάνειας (δ) ανάλυση απόκλισης

Δύο άλλα παραδείγματα, η σωλήνωση και το φύλο μετάλλου, επεξεργάζονται με τα ίδια βήματα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα. 9 και 10, αντίστοιχα. Αυτά τα παραδείγματα δείχνουν ότι η επιφάνεια του Auto Geomagic προσφέρει αξιοπιστη, βιώσιμη και εξαιρετικά αποτελεσματική ικανότητα για αυτοματοποιημένη ανακατασκευή επιφανειών.



**Εικόνα 20** Αποτελέσματα παραδείγματος σωλήνωσης δοκιμοζονται χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Geomagic (α) πλεγματικά πολυγωνα (β) μοντέλο Nurb (γ) ανάλυση απόκλισης



Εικόνα 21 Αποτελέσματα του μεταλλικού φύλλου με τη χρήση του Geomagic (α) πλέγμα πολυγώνων (β) το μοντέλο Nurb (γ) ανάλυση απόκλισης

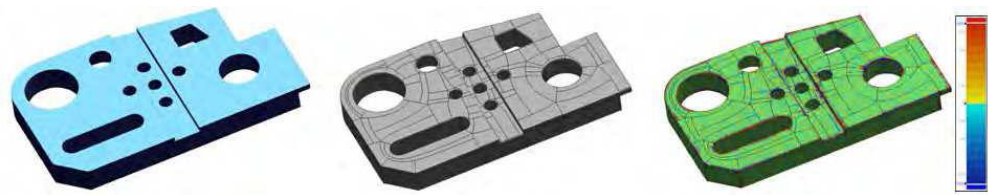
### 2.12.2 Rapidform XOR3

Όπως το Geomagic, έτσι και το Rapidform προσφέρει εξαιρετικές δυνατότητες για την επεξεργασία δεδομένων και την αναπαραγωγή των πολυγωνικών σημείων, συμπεριλαμβανομένης της δειγματοληψίας των δεδομένων, τη μείωση του θορύβου, το «wrap», την ανακατασκευή των πλεγμάτων, και το γέμισμα των τρυπών. Η εντολή Auto Surfacing για την διαμόρφωση της τελικής NURB επιφάνειας στο Rapidform περιέχει δύο μεθόδους, την *Feature Following Network* ( με πλεγματική τμηματοποίηση ), και την *Evenly Distribution Network* ( χωρίς mesh τμηματοποίηση ).

Το επιφανειακό μοντέλο NURB του παραδείγματος του μπλοκ, δημιουργήθηκε με επιτυχία χρησιμοποιώντας την επιλογή *Feature Following Network* σε μόλις περίπου 5 λεπτά, εικόνα 22. Τα μέτρα ακριβείας, δηλαδή, η απόκλιση μεταξύ του μοντέλου και της επιφάνειας του πολυγωνικού πλέγματος, είναι 0,00 ίντσες και 0,0006 ίντσες κατά μέσο όρο και τη τυπική απόκλιση, αντίστοιχα, όπως εμφανίζεται στο στην εικόνα 22.



Εικόνα 22 Μοντέλα επιφανειών Nurb δημιουργούνται χρησιμοποιώντας δυο διαφορετικές επιλογές Rapidform (α) επιλογή ομοιόμορφου συστήματος (β) επιλογή συστήματος με βάση την ακολουθία χαρακτηριστικών



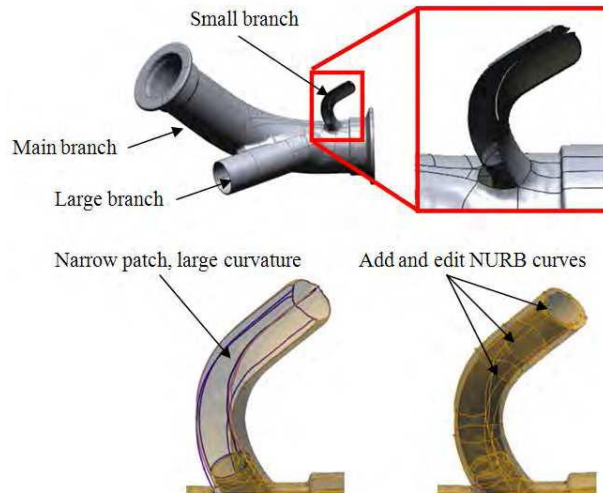
**Εικόνα 23 Τα αποτελέσματα του παραδείγματος του μπλοκ δοκιμάζονται χρησιμοποιώντας το Rapidform (α) πλέγμα πολυγώνων (β) μοντέλο επιφανείας Nurbs (γ) ανάλυση απόκλισης**

Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης του Rapidform για την κατασκευή επιφανειών, προέκυψαν ορισμένα ζητήματα που αξίζουν να σημειωθούν. Κατ' αρχάς, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το Rapidform τείνει να δημιουργήσει μεγάλο μέγεθος NURB μπαλωμάτων που αφήνουν κενά στο μοντέλο επιφανείας, ειδικά σε μία μεγάλη στενή περιοχή, υψηλής καμπυλότητας. Αυτό συμβαίνει ακόμη και με την επιλογή του χαρακτηριστικού *Feature Following Network*. Σχεδόν το μισό από το κομμάτι του σωλήνα λείπει μετά το auto surfacing με την επιλογή *Feature Following Network*. Όταν εμφανιστεί ένα τέτοιο πρόβλημα, το Rapidform τονίζει τα όρια των καμπυλών των κενών που δεν είναι σε θέση να γεμίσουν. Σε γενικές γραμμές, οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν να μειωθεί το μέγεθος του διακένου, για παράδειγμα, με την προσθήκη καμπύλων NURB, έτσι ώστε τα NURB μπαλώματα να μπορούν να δημιουργηθούν για να καλύψουν τα κενά με την απαιτούμενη ακρίβεια.

Για παράδειγμα, στη σωλήνωση, η διαδικασία επισκευής διήρκτησε περίπου 45 λεπτά για να ολοκληρωθεί και η τελική επιφάνεια του μοντέλου δημιουργήθηκε με κάποια χειρωνακτική εργασία. Ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση μεταξύ του μοντέλου της επιφάνειας και το πολυγωνικού πλέγματος είναι -0,0003 χιλιοστά και 0,0189 χιλιοστά.

Το παράδειγμα του φύλλου μετάλλου, παρουσιάζει επίσης ήσσονος σημασίας ζητήματα με το Rapidform. Η οριακή ακμή του τμήματος δεν είναι ομαλή σε όλα τα σαρωμένα δεδομένα. Το Rapidform δημιούργησε μία καμπύλη NURB κατά μήκος του ορίου, και στη συνέχεια μια άλλη ομαλότερη καμπύλη πολύ κοντά στο οριακό άκρο της. Ως αποτέλεσμα, μια πολύ μακριά και στενή περιοχή δημιουργήθηκε μεταξύ αυτών των δύο καμπυλών, οι οποίες παρουσιάζουν προβλήματα στην αυτοματοποίηση επιφανειών. Ελήφθησαν παρόμοια βήματα όπως στο παράδειγμα της σωλήνωσης με σκοπό να χωρίσει η στενή περιοχή με την προσθήκη καμπύλων NURB. Το τελικό μοντέλο χωρίστηκε σε τέσσερις κύριες περιοχές και αρκετές μικρότερες περιοχές, το οποίο επιτρέπει στις

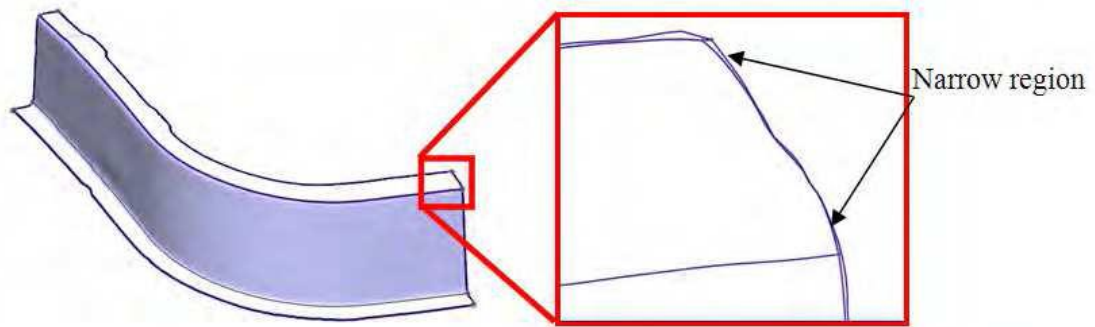
επιφάνειες NURB να δημιουργούνται με εξαιρετική ακρίβεια ( κατά μέσο όρο : 0.0 in, τυπική απόκλιση : 0,0002 in) .



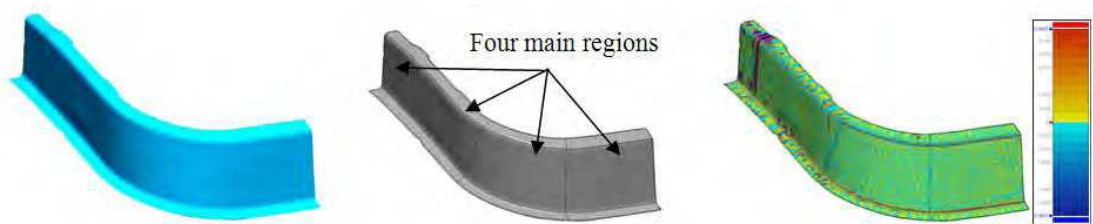
Εικόνα 24 Ελλιπές μοντέλο επιφάνειας Nurbs που δημιουργήθηκε από το Rapidform



Εικόνα 25 Αποτελέσματα του παραδείγματος της σωλήνωσης δοκιμάζονται χρησιμοποιώντας το Rapidform (α) πολυγωνικό πλέγμα (β) NURB επιφανειακό μοντέλο (γ) ανάλυση απόκλισης



**Εικόνα 26** Στενές περιοχές, αποτυγχάνουν αναφορικά με την επιφανειακή αυτοματοποίηση χρησιμοποιώντας το Rapidform



**Εικόνα 27** Τα αποτελέσματα για το παράδειγμα του μεταλλικού φύλλου δοκιμάστηκε χρησιμοποιώντας το Rapidform (α) πολυγωνικό πλέγμα (β) το μοντέλο επιφάνειας Nurb (γ) ανάλυση απόκλισης

### 2.12.3 Συνοπτική παρουσίαση του πρώτου γύρου αξιολογήσεων

Με βάση το λογισμικό που αξιολογούνται και ελέγχονται τα παραδείγματα, εξήχθη το συμπέρασμα ότι το Geomagic και το Rapidform είναι τα μόνα εργαλεία λογισμικού για την αυτοματοποιημένη κατασκευή επιφανειών. Μεταξύ αυτών των δύο, το Geomagic προσφέρει πιο ευέλικτες και εύκολες στο χρήστη δυνατότητες στην επεξεργασία καμπύλων NURB και επιφανειών, καθώς και την εξομάλυνση επιφανειών NURB. Από την άλλη πλευρά, το Rapidform προσφέρει περισσότερες λειτουργίες μέτρησης ποιότητας, όπως η συνεχής επιφανειακή ανάκλαση του κατασκευασμένου μοντέλου επιφάνειας. Επιπλέον, το Rapidform παρέχει τη δυνατότητα της ύπαρξης δέντρου, που επιτρέπει στους χρήστες να κυλήσουν πίσω και να επεξεργαστούν γεωμετρικές οντότητες που δημιουργήθηκαν στο παρελθόν, το οποίο είναι εξαιρετικά χρήσιμο στην αντιμετώπιση σύνθετων μοντέλων. Ωστόσο, το Rapidform τείνει να δημιουργήσει μεγαλύτερες επιφάνειες NURB που θα μπορούσαν μερικές φορές να οδηγήσουν σε επιπλέον προβλήματα. Συνολικά, και τα δύο εργαλεία έχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για την κατασκευή επιφανειών. Το Geomagic έχει ένα μικρό προβάδισμα για την υποστήριξη της επεξεργασίας των γεωμετρικών οντοτήτων.

## 2.13 Δεύτερος κύκλος παραμετρικής στερεάς μοντελοποίησης

Αν και τα μοντέλα επιφανείας NURB αντιπροσωπεύουν τμήματα γεωμετρίας με μεγάλη ακρίβεια, δεν αποτελούν παραμετρικά μοντέλα, καθώς δεν εμπεριέχουν CAD γεωμετρικά χαρακτηριστικά κανένα τμηματικό προφίλ, και καμία διάσταση, και ως εκ τούτου, η αλλαγή του σχεδιασμού είναι ανέφικτη στα μοντέλα επιφανειών NURB. Σε μερικές εφαρμογές, η γεωμετρία των τμημάτων πρέπει να τροποποιηθεί προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση του προϊόντος, μεταξύ άλλων πιθανών σεναρίων. Ο δεύτερος κύκλος επικεντρώνεται στην αξιολόγηση παραμετρικών δυνατοτήτων μοντελοποίησης σε τέσσερα εργαλεία λογισμικού, συμπεριλαμβανομένων των Geomagic, Rapidform, SolidWorks, και Wildfire.

Πιο συγκεκριμένα, παρακάτω παρατίθενται μερικές ερωτήσεις οι οποίες είναι πολύ σημαντικές να ερευνηθούν :

1 . Μπορούν γεωμετρικά πρότυπα σχήματα, όπως είναι οι κώνοι, σφαίρες, κλπ., να αναγνωρίζονται αυτομάτως από κατακερματισμένες περιοχές; Πόσα τέτοια αρχέτυπα σχήματα μπορούν να αναγνωριστούν;

2 . Μπορεί ένα σκίτσο τομής ενός γεωμετρικού χαρακτηριστικού να δημιουργηθεί από ένα πολυγωνικό πλέγμα ή ένα νέφος σημείων (ή κατά διαστήματα περιοχές);

3 . Μπορεί ένα σκίτσο τομής να γίνει παραμετροποιηθεί πλήρως; Μπορούν οι διαστάσεις και οι γεωμετρικοί περιορισμοί, όπως οι ομόκεντροι κύκλοι, οι ίσες ακτίνες, κλπ., να προσδιοριστούν με ευκολία;

Οι ικανότητες της στερεάς μοντελοποίησης στο πλαίσιο της αντίστροφης μηχανικής για τα τέσσερα θέματα λογισμικού παρατίθενται στην εικόνα 28. Μεταξύ αυτών των τεσσάρων προγραμμάτων, το Geomagic, το Rapidform και το SolidWorks είναι σε θέση να αναγνωρίζουν αρχέτυπα σχήματα, όπως είναι η επιφάνεια, ο κύλινδρος, η σφαίρα, κ.λπ., από κατακερματισμένες περιοχές. Το Wildfire δεν προσφέρει καμία από τις δυνατότητες μοντελοποίησης που ψάχνουμε και ως εκ τούτου, αποκλείεται από την

αξιολόγηση. Αν και μερικά αρχέτυπα μπορούν να αναγνωρίζονται αυτόματα, συχνά οδηγούν σε μερικώς αναγνωρισμένα στερεά μοντέλα. Σε γενικές γραμμές, απαιτείτε αρκετή προσπάθεια ώστε να ανακτηθούν τα υπόλοιπα αρχέτυπα ή ορθά να αναγνωριστούν λανθασμένα αρχέτυπα. Απαιτείται λιγότερη προσπάθεια για να αποδοθεί πολύ καλύτερα ένα στερεό μοντέλο εξαιτίας της διαδραστικής ανάκτησης στερεών χαρακτηριστικών, τα οποία είναι ενσωματωμένα στις κατακερματισμένες περιοχές. Η διαδραστική προσέγγιση αφορά κυρίως τη δημιουργία ή την εξαγωγή προφίλ ή κατευθυντήριων καμπύλων από ένα πολυγωνικό πλέγμα, ακολουθώντας βήματα σχετικά με το CAD ούτως ώστε να δημιουργηθούν στερεά χαρακτηριστικά. Μεταξύ των υπόλοιπων τριών, το SolidWorks είναι πιο δύσκολο στη χρήση και ως εκ τούτου, αποκλείεται επίσης σε αυτό το γύρο των αξιολογήσεων.

	Q1: Recognition of geometric primitives	Recognized primitives	Q2: Section sketch	Q3: Adding dimensions and constraints
Geomagic Studio v.11	Yes (Solid + Surface)	Plane, Cylinder, Cone, Sphere, Free form, Extrusion, Revolve	Yes (Poor)	Yes (Poor)
Rapidform XOR3	Yes (Solid + Surface)	Plane, Cylinder, Cone, Sphere, Torus, Box	Yes (Excellent)	Yes (Fair)
SolidWorks 2009	Yes (Surface only)	Plane, Cylinder, Cone, Sphere, Torus, Free form, Extrusion, Revolve	Yes (Poor)	Yes (Poor)
Wildfire v.4	No	No	No	No

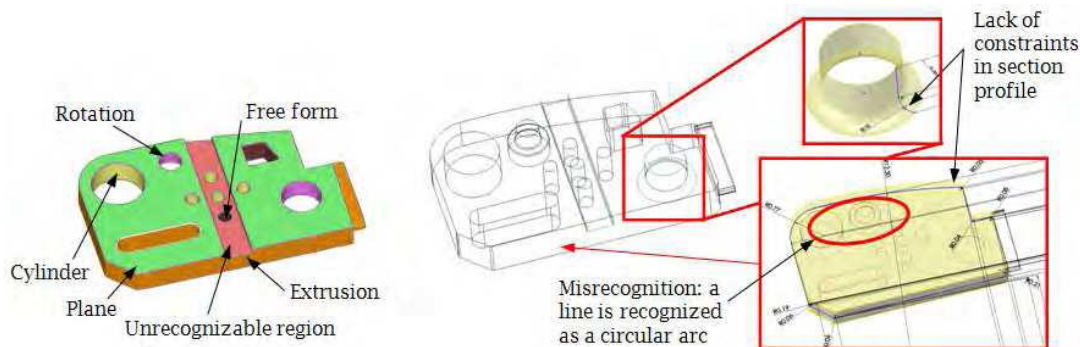
Εικόνα 28 Ικανότητες στερεάς μοντελοποίησης για διάφορα λογισμικά προγράμματα

### 2.13.1 Geomagic Studio V.11

Το Geomagic αναγνωρίζει αυτόματα πρότυπες επιφάνειες από κατακερματισμένες περιοχές. Αν μια πρότυπη επιφάνεια δεν αναγνωρίζεται σωστά ή απλά δεν αναγνωρίζεται, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν διαδραστικά τη διασπασμένη περιοχή και να ορίσουν ένα σωστό αρχέτυπο πρότυπο. Συχνά, αυτή η προσέγγιση οδηγεί σε ένα στερεό μοντέλο με όλες τις επιφάνειες οριοθέτησης αναγνωρισμένες. Δυστυχώς, δεν υπάρχει δέντρο χαρακτηριστικών και ικανότητες CAD στο πρόγραμμα Geomagic. Οι χρήστες δεν

έχουν τη δυνατότητα να αντικρίσουν κάποιο σκίτσο ή διαστάσεις στο πρόγραμμα Geomagic Studio V.11 . Ως εκ τούτου , οι χρήστες δεν είναι σε θέση να επεξεργαστούν ή να προσθέσουν οποιαδήποτε διάσταση ή περιορισμό για να παραμετροποιήσουν τα σχεδιαστικά προφίλ. Σκίτσα γίνονται μόνο διαθέσιμα στους χρήστες μετά την εξαγωγή του στερεού μοντέλου για ένα συγκεκριμένο πακέτο CAD που υποστηρίζεται από το πρόγραμμα Geomagic .

Το παράδειγμα του μπλοκ ( 7.26 cm × 12.7 cm × 1.27 ) των 634.957 σημείων που φαίνονται στο εικόνα 29, χρησιμοποιείται για να απεικονίσει τις δυνατότητες που προσφέρεται στο Geomagic. Οι αρχέτυπες επιφάνειες στις περισσότερες περιοχές αναγνωρίζονται σωστά. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες περιοχές εσφαλμένα αναγνωρισμένες. Για παράδειγμα, η οπή στη μέση του μπλοκ αναγνωρίστηκε ως επιφάνεια ελεύθερης μορφής, αντί να αναγνωριστεί ως κύλινδρος. Να σημειωθεί ότι υπάρχουν επίσης περιοχές που παρέμειναν μη αναγνωρισμένες.



**Εικόνα 29** Πρωτόγονες επιφάνειες που αναγνωρίζονται από το Geomagic (α) αναγνωρισμένες περιοχές (β) εξάγονται πρότυπες επιφάνειες στο SolidWorks

Αν και οι περισσότερες πρότυπες επιφάνειες αναγνωρίζονται από το Geomagic, εξακολουθούν να υπάρχουν ζητήματα προς αντιμετώπιση. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ότι μια ευθεία γραμμή σε ένα σκίτσο μπορεί να αναγνωρίζεται ως ένα κυκλικό τόξο με μια πολύ μεγάλη ακτίνα γεγονός που μπορεί να αναγνωριστεί μόνο μετά την εξαγωγή του στερεού μοντέλου στο SolidWorks. Τα σκίτσα θα πρέπει να υπόκεινται σε προσεκτική επιθεώρηση ώστε εν συνεχεία να μπορούν να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις αλλά και η προσθήκη διαστάσεων για την παραμετροποίηση του εκάστοτε σκίτσου. Δυστυχώς, ένας τέτοιος έλεγχος δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί εκτός εάν το στερεό μοντέλο εξαχθεί προς τα υποστηριζόμενα συστήματα CAD.



## 2.14 Στερεά εξαγωγή μοντέλου

Τα στερεά μοντέλα που δημιουργήθηκαν σε εξειδικευμένο λογισμικό , όπως το Rapidform και το Geomagic , πρέπει να εξαχθούν σε συστήματα CAD , προκειμένου να υποστηρίξουν εφαρμογές της μηχανικής . Τόσο το Rapidform και το Geomagic δίνουν τη δυνατότητα να εξαχθούν στερεά μοντέλα σε πολλά συστήματα CAD .

### 2.14.1 Παραμετρική Ανταλλαγή Geomagic

Το στερεό μοντέλο του παραδείγματος του μπλοκ που δημιουργήθηκε στο Geomagic εξήχθη στο SolidWorks και το Wildfire χρησιμοποιώντας τη λειτουργία παραμετρικής ανταλλαγής του Geomagic. Για το SolidWorks και τα δεκαεπτά χαρακτηριστικά αναγνωρίζονται και εξάγονται από το Geomagic ως μεμονωμένα χαρακτηριστικά.

### 2.14.2 liveTransfer <sup>TM</sup> ενότητα Rapidform XOR3

Η ενότητα liveTransfer <sup>TM</sup> της Rapidform XOR3 εξάγει παραμετρικά μοντέλα , απευθείας σε μεγάλα συστήματα CAD , συμπεριλαμβανομένων των SolidWorks, Pro / Engineer, Wildfire, CATIA και το AutoCAD. Το παράδειγμα του μπλοκ που ήταν πλήρως παραμετροποιημένο στο Rapidform, για πρώτη φορά εξάγεται στο SolidWorks. Όλα τα στερεά χαρακτηριστικά εξήχθησαν άψογα στο SolidWorks, εκτός από ορισμένα δεδομένα. Εφόσον οι οντότητες όπως είναι τα πολυγωνικά πλέγματα, δεν περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων του SolidWorks, δεν μπορούν να εξαχθούν. Ως αποτέλεσμα, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις οντότητες αυτές δεν εξάγονται σωστά. Οι διαστάσεις και οι περιορισμοί που προστίθενται με τα σκίτσα και τα στερεά χαρακτηριστικά στο Rapidform εξάγονται με επιτυχία, εκτός από αυτά που αναφέρονται σε οντότητες που δεν είναι διαθέσιμα στην εφαρμογή του SolidWorks . Ευτυχώς, το πρόγραμμα απαιτεί στους χρήστες να κάνουν μόνο κάποιες μικρές αλλαγές ( όπως η προσθήκη ή τροποποίηση διαστάσεων ή περιορισμών ) για να μπορέσει να δώσει πίσω ένα πλήρως παραμετρικό μοντέλο στερεού στο SolidWorks, στο οποίο το μήκος του μπλοκ βάσης αυξήθηκε και το στερεό μοντέλο ανακατασκευάστηκε στο SolidWorks. Σε γενικές γραμμές ,τα παραμετρικά στερεά μοντέλα που δημιουργήθηκαν στο Rapidform μπορούν να εξαχθούν και στο Solidworks με αρκετά καλά αποτελέσματα.

## 2.15 Συμπεράσματα σχετικά με τη λειτουργία λογισμικών

Μετά από διεξοδική εξέταση και έρευνα αναφορικά με τις δυνατότητες που προσφέρει κάθε λογισμικό, τα καλύτερα λογισμικά για την αντίστροφη μηχανική είναι της εταιρίας Geomagic και της Rapidform. Αυτό προσδιορίστηκε μετά από ενδελεχή και εντατική μελέτη και μετά από μια σειρά από προκαθορισμένα κριτήρια, συμπεριλαμβανομένων της ποιότητας των επιφανειών, την παραμετρική στερεά μοντελοποίηση, και τη χρηστικότητα του λογισμικού. Μεταξύ των δύο, το Geomagic έχει ένα μικρό προβάδισμα στη γεωμετρική επεξεργασία οντοτήτων, η οποία είναι κρίσιμη για τη δημιουργία αυτόματα επιφανειών. Από την άποψη των στερεών μοντέλων, το Geomagic λειτουργεί μόνο με πρωτόγονες επιφάνειες, όπως απλές επιφάνειες, κύλινδρος, σφαίρες, κ.λπ., από κατακερματισμένες περιοχές. Το Rapidform υποστηρίζει στερεά μοντέλα ανώτερης πολυπλοκότητας (εκτός από την εξαιρετική αυτόματη ανάδυση). Το Rapidform προσφέρει δυνατότητες σχεδίασης, που υποστηρίζουν το χαρακτηριστικό που βασίζεται στη μοντελοποίηση. Ως αποτέλεσμα, συχνά απαιτεί λιγότερη προσπάθεια, αποδίδοντας ακόμη και ένα καλύτερο στερεό μοντέλο δια δραστικής ανάκτησης στερεών χαρακτηριστικών ενσωματωμένων στις κατακερματισμένες περιοχές. Η δια δραστική προσέγγιση αφορά κυρίως τη δημιουργία ή την εξαγωγή προφίλ ενοτήτων ή καμπύλων οδηγών από το πολυγωνικό πλέγμα, και μετά από CAD -όπως βήματα για να δημιουργηθούν στερεά χαρακτηριστικά του αντικειμένου.

Οι πιο χρήσιμες και προηγμένες δυνατότητες της σχηματικής μηχανικής προσφέρονται σε εξειδικευμένα λογισμικά, όπως το Geomagic, το Rapidform, κ.λπ., που προορίζονται για την υποστήριξη της αντίστροφης μηχανικής. Μερικά πακέτα CAD, όπως το SolidWorks, το Pro / ENGINEER Wildfire, και το CATIA, προσφέρουν περιορισμένες δυνατότητες σχετικά με τη σχηματική μηχανική. (Chang, 2012)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Το Geomagic Studio μετατρέπει τρισδιάστατα δεδομένα σάρωσης και πολυγωνικά πλέγματα σε ακριβή τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα με σκοπό την αντίστροφη μηχανική, το σχεδιασμό του προϊόντος καθώς και την ταχεία προτυποποίηση.

### 3.1 Geomagic Studio - Παραμετρική Ανταλλαγή

#### 3.1.1 Τύποι αρχείων που μπορούν να εξαχθούν σε CAD

Πλεγματικά πολύγωνα και NURB μπορούν να εξαχθούν για χρήση σε λογισμικά CAD. Παρακάτω είναι ένα διάγραμμα με τους διαφορετικούς τύπους μοντέλων, τη μορφή των αρχείων και το πόσο καλά εισάγοντα σε προγράμματα όπως το SolidWorks και το Pro/E. Αυτά είναι τα βασικά σημεία αναφοράς τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κατευθυντήρια γραμμή.

<b>SolidWorks</b>			
<u>Τύπος Μοντέλου</u>	<u>Είδος Αρχείου</u>	<u>Ταχύτητα Εισαγωγής</u>	<u>Αποτελέσματα</u>
Polygon	Iges	Very slow	Curves
Polygon	STL(ascii)	Slow	Polygon Surface
NURB	Iges	Fast	Surface
NURB	STL(ascii)	Hangs	*no result
NURB	Step203	Fast	Surface
NURB	Step214	Fast	Surface
<b>ProEngineer</b>			
Polygon	Iges	Slow	Curves
Polygon	STL(ascii)	Fast	Facet Feature
NURB	Iges	Fast	Surface (with patches)
NURB	STL(ascii)	Fast	Facet Feature
NURB	Step203	Fast	Surface (with patches)
NURB	Step214	Fast	Surface (with patches)

### Πίνακας 5 Διάγραμμα διαφορετικών τύπων μοντέλων

Η παραμετρική ανταλλαγή μειώνει το χρόνο ανάπτυξης του προϊόντος, επιτρέποντας την απρόσκοπτη μεταφορά των παραμετρικών επιφανειών, των στερεών, των χαρακτηριστικών, και καμπύλων, από το λογισμικό Geomagic Studio σε μεγάλα πακέτα CAD, χωρίς την ανάγκη για ενδιάμεσα ουδέτερα αρχεία όπως IGES ή STEP. Παρέχει μια έξυπνη σύνδεση μεταξύ του Geomagic Studio και του πακέτου CAD με σκοπό να ενεργοποιήσει την αυτόματη φυσική ανασυγκρότηση της γεωμετρίας από πρωτογενή δεδομένα σάρωσης.

#### 3.1.2 Οδηγός Περιγραφής

Ο οδηγός αυτός ενθαρρύνει το χρήστη να ενσωματώσει το Geomagic Studio σε διαδικασίες ρουτίνας αποδεικνύοντας την ευκολία της ανταλλαγής παραμετρικών στοιχείων μεταξύ του Geomagic Studio 11 και ενός CAD πακέτου. Ο οδηγός αυτός απαιτεί από το χρήστη να έχει καλή γνώση του Geomagic Studio και ενός από τα συμβατά πακέτα CAD. Η εντολή File > Parametric Exchange είναι μία δωρεάν εντολή του Geomagic Studio 11 η οποία τρέχει σε συνδυασμό με διάφορα πακέτα CAD και απαιτεί τη χρήση ενός επιπρόσθετου πακέτου. Η παραμετρική ανταλλαγή προσφέρει μια έξυπνη σύνδεση μεταξύ του Geomagic Studio και ένα συμβατού πακέτου CAD με σκοπό την αυτόματη ανασυγκρότηση της πρότυπης γεωμετρίας από δεδομένα σάρωσης. Αυτό το χαρακτηριστικό μειώνει το χρόνο της κατασκευής προϊόντων, επιτρέποντας την μεταφορά των παραμετρικών επιφανειών, στερεών, επιπέδων, καθώς και καμπύλων από το Geomagic Studio σε πακέτο CAD, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης ενδιάμεσων αρχείων όπως είναι τα IGES ή STEP.

#### 3.1.3 Προϋποθέσεις λειτουργίας

Η διαδικασία αυτή απαιτεί τη χρήση του Geomagic Studio με τις Capture, Wrap, και Fashion module άδειες, καθώς και ένα από τα συμβατά συστήματα CAD.

Συγκεκριμένα, ο παρών οδηγός χρησιμοποιεί τα αρχεία:

- PX-Guide-Fitting.wrp,
- PX-Guide-Fitting-Solidworks.sldprt (για το Solidworks),

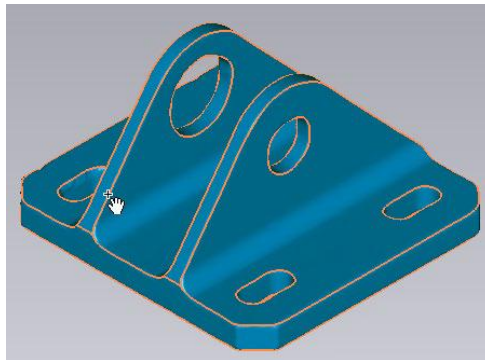
Ξεκινώντας με ένα τμήμα αεροσκάφους που έχει ήδη σαρωθεί , ανιχνεύονται οι προθέσεις του σχεδιασμού και δημιουργούνται οι βελτιστοποιημένες επιφάνειες (χρησιμοποιώντας την εφαρμογή Fashion Face του Geomagic Studio ) . Ο στόχος της διαδικασίας αυτής είναι:

- 1 . να εξεταστεί το αρχικό κομμάτι και να συζητηθεί γιατί ορισμένες αποφάσεις και ενέργειες ελήφθησαν με τη χρήση του Geomagic Studio ,
- 2 . να μεταφερθούν οι Fashion Surfaces σε ένα σύστημα CAD (με τη χρήση της εντολής της παραμετρικής ανταλλαγής του Geomagic Studio ) , και ως εκ τούτου να τα γίνει η μετατροπή τους σε Sketch αντικείμενα,
- 3 . να εφαρμόσει η αντίστροφη μηχανική στο εξάρτημα του αεροσκάφους χρησιμοποιώντας τις εντολές εξώθησης και αφαίρεσης υλικού στα «Sketch» αντικείμενα , και
- 4 . να μεταφερθεί το CAD αντικείμενο πίσω στο Geomagic Studio έτσι ώστε να αποδειχθεί ότι το αντικείμενο που δημιουργήθηκε με αντίστροφη μηχανική είναι πιστό αντίγραφο του αρχικού πολυγωνικού αντικείμενου, χρησιμοποιώντας την εντολή Parametric Exchange του Geomagic Studio.

### 3.1.4 Ροή διαδικασίας

- Άνοιγμα του αρχείου του κομματιού

Βήμα 1 . Άνοιγμα του αρχείου «PX-Guide-Fitting.wrp» στο Geomagic Studio . Αυτό το αντικείμενο, το οποίο αντιπροσωπεύει ένα κομμάτι αεροσκάφους, είναι ένα πολυγωνικό αντικείμενο το οποίο έχει ψηφιοποιηθεί και επεξεργαστεί και στο οποίο οι «Fashion» επιφάνειες του έχουν ήδη δημιουργηθεί.



Εικόνα 30 Τμήμα αεροσκάφους - fashion επιφάνειες

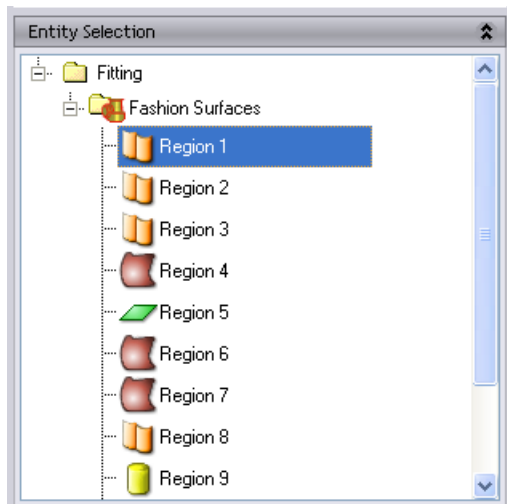
- Έλεγχος Αντικειμένου

Αυτή η ενότητα είναι προαιρετική . Αναδεικνύει τις σχετικές θέσεις των fashion επιφανειών που θα ανταλλάσσονται παραμετρικά με το σύστημα CAD .

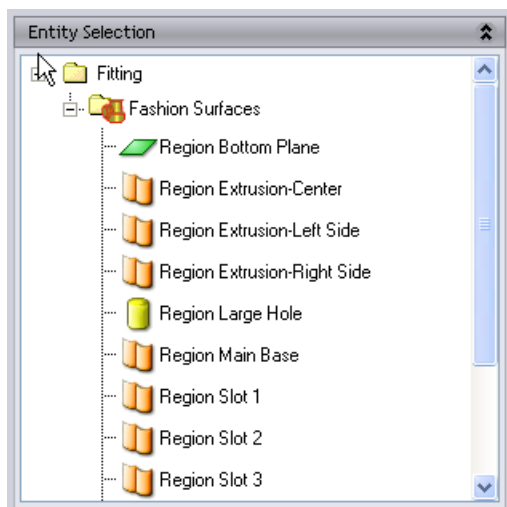
Βήμα 1 . Τονίζετε το Fashion αντικείμενο στο «Model Manager» και τρέχει το Surfaces> Create Trimmed Surfaces

Βήμα 2 . Εκτελεί τη λειτουργία «Fit Primaries». Στην περιοχή προβολής, τονίζετε κάθε μία επιφάνεια ξεχωριστά. Το πεδίο Region Name στο πλαίσιο διαλόγου εμφανίζει το όνομα της κάθε περιοχής που έχει ορίσει ο χρήστης. Αυτό είναι το όνομα με το οποίο η επιφάνεια θα πρέπει να είναι γνωστή στο σύστημα CAD . Η λειτουργία Fit εκχωρεί αρχικά προεπιλεγμένα ονόματα για τις περιφέρειες , όπως για παράδειγμα οι αριθμοί «1», « 2», «3», κλπ.

Όταν δημιουργηθούν οι Fashion επιφάνειες που περιμέναμε να μεταφερθούν σε ένα σύστημα CAD, χρησιμοποιώντας την παραμετρική ανταλλαγή, προτείνετε να παραβλέψουμε το προεπιλεγμένο αριθμητικό όνομα και να εκχωρήσουμε ένα αντιπροσωπευτικό όνομα σε κάθε επιφάνεια που εμπλέκεται. Ομοίως, χρειάζεται να εκχωρήσουμε ένα όνομα για κάθε χαρακτηριστικό, επίπεδο και καμπύλη του αντικειμένου επρόκειτο να μεταφέρουμε σε ένα σύστημα CAD. Αν αλλάξουμε την περιοχή «5» σε "εξώθησης δεξιάς πλευράς", στη συνέχεια, σε ένα μεταγενέστερο στάδιο, η περιοχή θα είναι γνωστή ως «Περιοχή εξώθησης δεξιάς πλευράς» αντί του «Περιοχή 5».



Εικόνα 31 Fashion επιφάνειες



- Μεταφορά στις «Fashion Επιφάνειες»

Βήμα 1. Ενώ το Fashion object ακόμη είναι τονισμένο στο «Model Manager», θα πρέπει να εφαρμόσουμε την εντολή File > Parametric Exchange. Στην επιλογή Entity Selection, παρατηρούμε ότι τα ονόματα των «Fashion Surfaces» είναι ίδια όπως αποδόθηκαν από τον χρήστη και συζητήθηκαν στο προηγούμενο βήμα.

Βήμα 2. Το πακέτο CAD το οποίο αναφέρεται στο παράθυρο «Exchange Options», θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι είναι ήδη σε λειτουργία. Ορίζω στο πλαίσιο Send As σε Sketch, που σημαίνει ότι οι επιφάνειες θα εξωθηθούν ως σκίτσα στο σύστημα CAD.

Βήμα 3. Τα νέα αντικείμενα εμφανίζονται στο Model Tree της εφαρμογής του CAD.

### 3.1.5 Μεταφορά στο SolidWorks

Αυτή η ενότητα περιέχει τις γενικές διαδικασίες για την αντίστροφη μηχανική του κομματιού για το πρόγραμμα του SolidWorks.

Στην πράξη, δεν αποτελεί σωστή πρακτική να στείλουμε όλες τις οντότητες στο σύστημα CAD ταυτόχρονα. Οι οντότητες θα πρέπει να αποσταλούν στο σύστημα CAD με την ίδια λογική σειρά με την οποία είχαν αρχικά σχεδιαστεί. Ως εκ τούτου, τα επόμενα βήματα μας καθοδηγούν ώστε να εφαρμόσουμε σωστά τη διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής, και πιο συγκεκριμένα της αποστολής, χρησιμοποιώντας τα υποσύνολα των οντοτήτων.

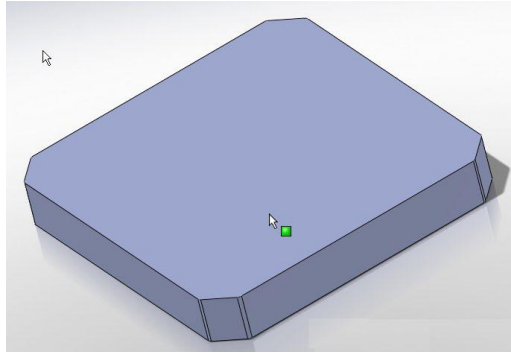
#### 3.1.5.1 Αντίστροφη Μηχανική με τη χρήση του SolidWorks

Βήμα 1. Στην επιλογή Exchange , επιλέγουμε «Add data to new CAD part file». Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να ανοίξει ένα νέο αρχείο στο SolidWorks. Θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι το «Send As Type» είναι ακόμα ρυθμισμένο σε «Solid».

Θα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί με τις λειτουργίες «Add data to new» και «Add data to current» καθώς το ένα προκαλεί τη μεταφορά των γεωμετρικών οντοτήτων με σκοπό τη δημιουργία ενός νέου αρχείου εργασίας CAD, και το άλλο μεταφέρει οντότητες οι οποίες προστίθενται σε ένα υπάρχον αρχείο εργασίας.

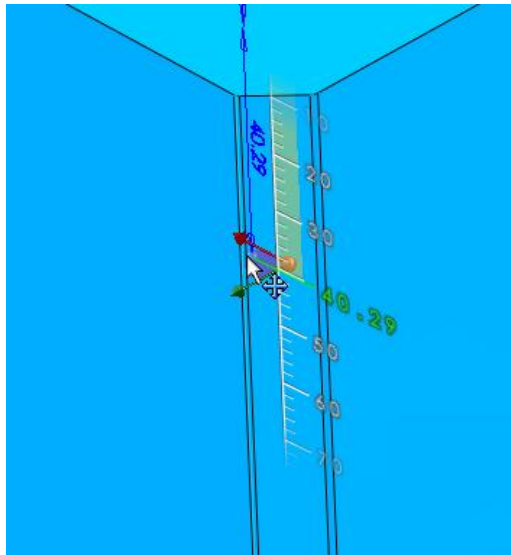
Βήμα 2. Έλεγχος αναφορικά με το αν ο κόμβος του δέντρου στην Fashion Surface έχει επεκταθεί. Πατάμε το πλήκτρο «Clear All» και στη συνέχεια επιλέγουμε μόνο την ακόλουθη οντότητα στον πίνακα «Entity Selection»: Region Main Base και Πατάμε Αποστολή.

Βήμα 3. Η βάση του εξαρτήματος στέλνεται ως Solid, έτσι το SolidWorks αποδέχεται το σκίτσο και δημιουργεί αυτόματα μια εξώθηση.



**Εικόνα 32 Δημιουργία πρώτης εξώθησης**

Βήμα 4 . Επιλέγουμε το «πρόσωπο» και στη συνέχεια, σύρουμε την εξώθηση της κατεύθυνσης του βέλους μέχρι το ύψος της εξώθησης να είναι περίπου 60 mm.



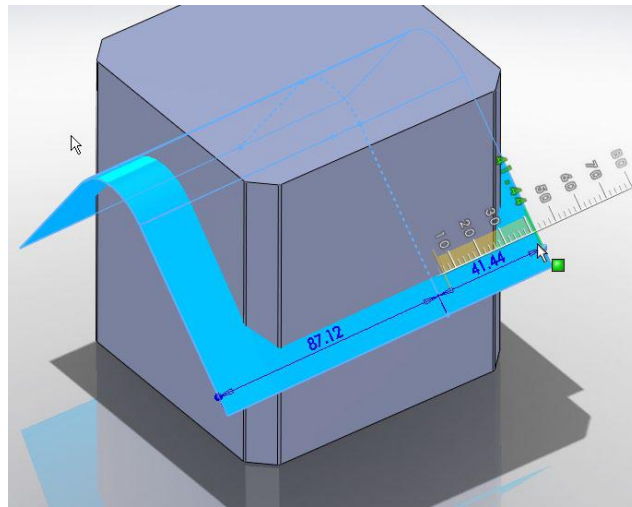
**Εικόνα 33 Ορισμός ύψους εξώθησης**

Βήμα 5 . Επιστρέφουμε στο παράθυρο διαλόγου Parametric Exchange , επιλέγουμε την εντολή Add data στο παρών ενεργό CAD αρχείο. Αυτό προκαλεί την επόμενη εντολή «Send» να προσθέσει οντότητες στο αρχείο του SolidWorks που βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη.

Βήμα 6 . Πατάμε το «Clear All» , επισημαίνουμε μόνο την ακόλουθη οντότητα στην Entity Selection : Region Top Surface Left και τέλος πατάμε Send.

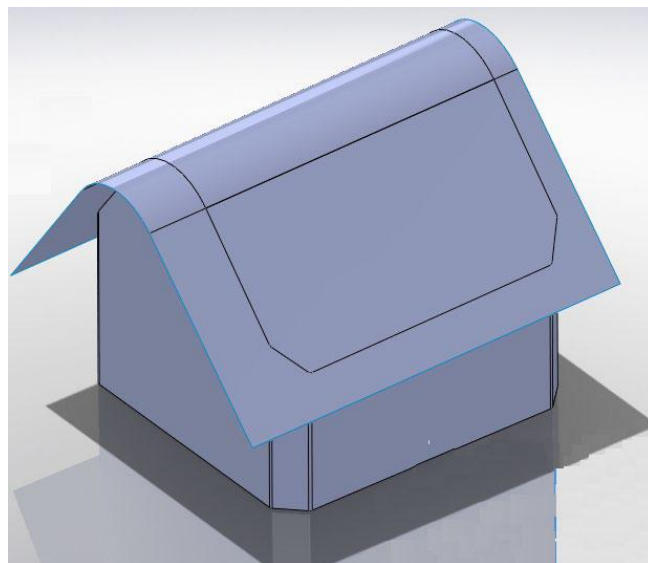
Βήμα 7 . Η φλάντζα έχει δημιουργηθεί εγγενώς στο SolidWorks. Μπορούμε να το διευρύνουμε με δεξί κλικ στο όνομά του, στο δέντρο και να θέσουμε προέκταση με

κατεύθυνση εξ έλασης στη ρύθμιση 1 έως περίπου 75 mm και στην κατεύθυνση 2 έως περίπου 50 mm.



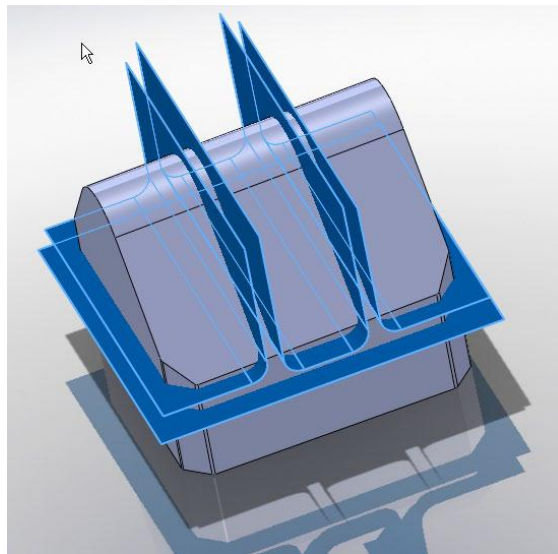
Εικόνα 34 Εντολή " Cut with surface"

Βήμα 8. Χρησιμοποιούμε την εντολή «Cut with Surface» για να αφαιρέσουμε την κορυφή του αντικειμένου.



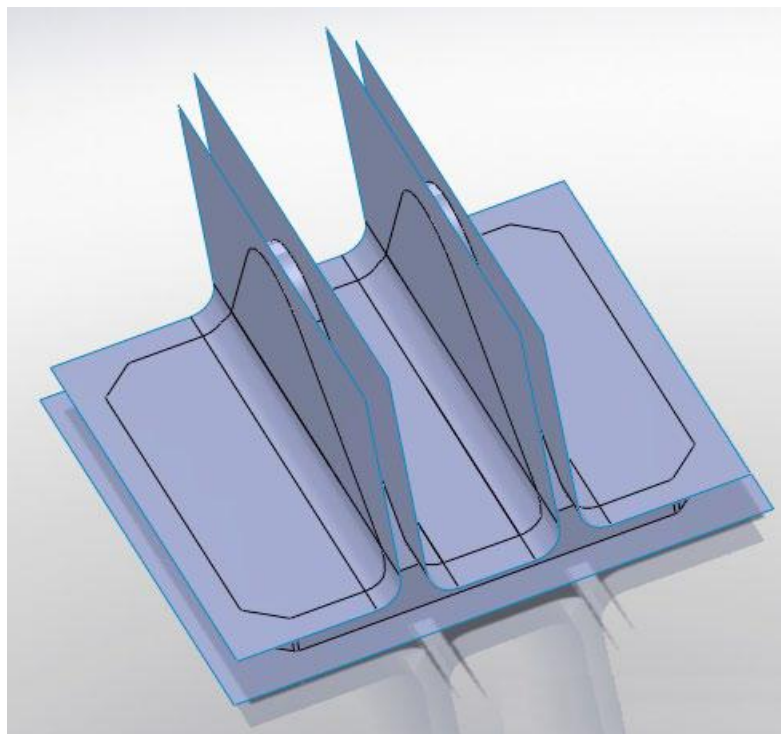
Εικόνα 35 Αποτέλεσμα εντολής "Cut with surfaces"

Βήμα 9. Επιστρέφοντας στο παράθυρο διαλόγου Parametric Exchange , πατάμε το πλήκτρο «Clear All» και στη συνέχεια, επισημαίνουμε μόνο τις ακόλουθες οντότητες στο πάνελ «Entity Selection» : Region Bottom Plane, Region Extrusion-Left Side, Region Extrusion-Right Side,, και της Region Extrusion-Center. Πατάμε Send.



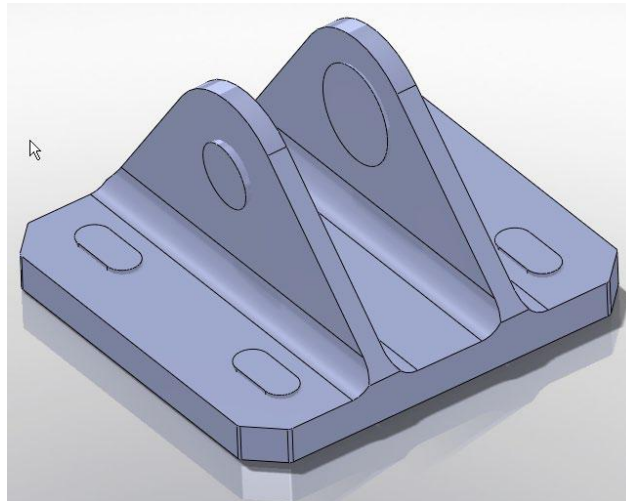
**Εικόνα 36 Τομές με σκοπό τη δημιουργία επιφανειών**

Βήμα 10. Αυτές οι επιφάνειες δημιουργήθηκαν εγγενώς από το προηγούμενο βήμα. Χρησιμοποιήθηκε η εντολή «Cut With Surface» για να αφαιρεθεί το επιπρόσθετο υλικό . Μετά την κοπή , κάναμε δεξί κλικ στην επιφάνεια των αντικειμένων στο δέντρο και ρυθμίσαμε την προβολή τους στο Hide ( για να γίνουν αόρατα ).



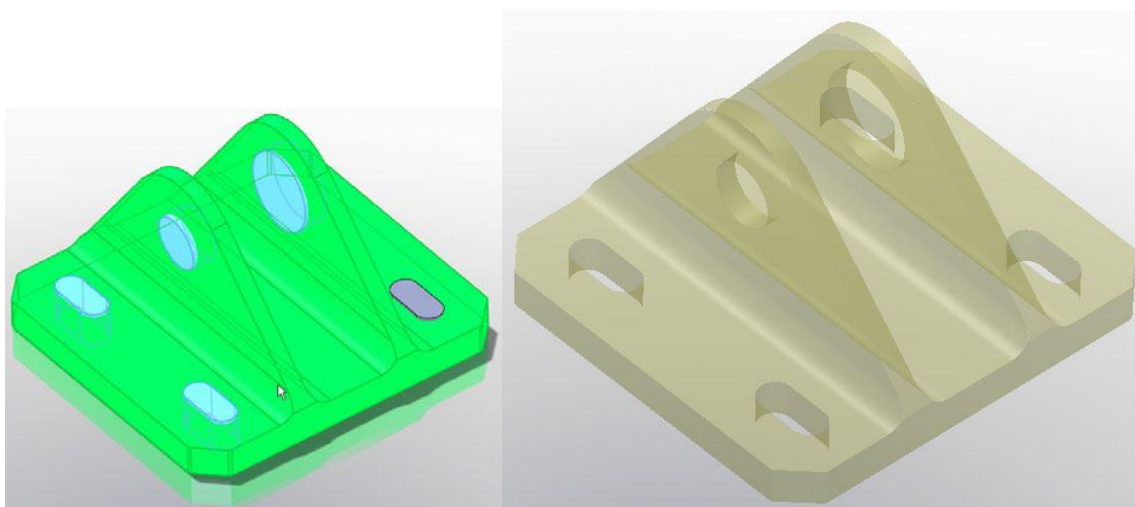
**Εικόνα 37 Αφαίρεση επιπρόσθετου υλικού**

Βήμα 11 . Επιστρέφοντας στο παράθυρο διαλόγου Parametric Exchange, πατάμε το πλήκτρο «Clear All» , και στη συνέχεια, επισημάνουμε μόνο τις ακόλουθες οντότητες στο Entity Selection πάνελ : *Region Large Hole*, *Region Small Hole*, *Region Slot 1* , *2* , *3* , και *4* και τέλος πατάμε Send.



**Εικόνα 38 Δημιουργία όγκου αντικειμένου**

Βήμα 12 . Χρησιμοποιήσαμε την εντολή Insert > Features > Combine για την αφαίρεση υλικού από τις τρύπες. Διαλέξαμε το κύριο σώμα , θέσαμε το «Operation Type» σε «Subtract», επιλέξατε τις τρύπες και τις σχισμές , και επιλέξαμε το πράσινο σημάδι για να γίνει αφαίρεση υλικού από το κύριο σώμα . Στην εικόνα 39 παρουσιάζεται η διαδικασία κατά τη διάρκεια της διαδικασίας «Booleanization» (αριστερά) και μετά «»Booleanization» ( δεξιά).



**Εικόνα 39 Διαδικασία “Booleanization”**

### 3.1.5 Αλλαγές Σχεδίασης σε ένα παραμετρικό μοντέλο

Όταν έχουμε ένα πλήρως παραμετρικό μοντέλο, οι παραμετρικές αλλαγές του σχεδιασμού του είναι εύκολες. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SolidWorks, μπορούν να αλλάξουν οι ακτίνες αλλά και το μέγεθος διαφόρων χαρακτηριστικών. Για να αλλάξουμε δηλαδή, την ακτίνα της τρύπας του αντικειμένου, κάνουμε δεξί κλικ στο όνομα της τρύπας στο δέντρο, τονίζουμε το sketch της, κάνουμε κλικ στην διάσταση στην τρισδιάστατη προβολή 3D, και εν συνεχεία αλλάζουμε την τιμή της.

### 3.1.6 Μεταφορά αντικειμένου στο Geomagic Studio

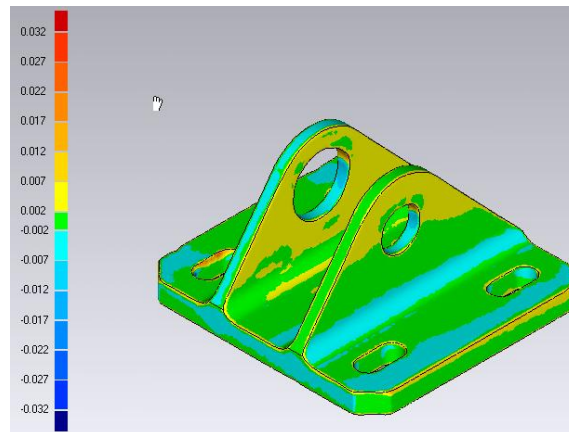
Το αντικείμενο μπορεί να μεταφερθεί πίσω στο Geomagic Studio ώστε να εφαρμοστεί σύγκριση με το πρότυπο αντικείμενο. Αυτό το βήμα υπογραμμίζει το βαθμό στο οποίο η αντίστροφη διαδικασία της μηχανικής προκάλεσε την απομάκρυνση των επιφανειών από τα αρχικά δεδομένα του Geomagic Studio.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ένα μικρό ποσοστό αλλαγής μπορεί να είναι επιθυμητό, αλλά σε άλλες περιπτώσεις η αρχική γεωμετρία του αντικειμένου μπορεί να μη σχετίζεται απόλυτα με τον σχεδιασμό του νέου προτύπου.

Βήμα 1. Τοποθετούμε ένα νέο αρχείο CAD που περιέχει εξάρτημα αντίστροφης μηχανικής.

- Για το Solidworks χρησιμοποιούμε το αρχείο PX-Guide-Fitting-Solidworks.sldprt

Βήμα 2. Στο παράθυρο διαλόγου Parametric Exchange της Geomagic Studio, πατάμε το κουμπί Deviation Analysis. Το Geomagic Studio αμέσως μεταφέρει το αντικείμενο στο σύστημα CAD, συγκρίνει τις αρχικές Fashion Surfaces με το κατασκευασμένο αντικείμενο CAD, και με ένα χρωματιστό κώδικα χαρτογράφησης παρουσιάζει τις διαφορές μεταξύ του εγγενούς και του κατασκευασμένου προτύπου.



Εικόνα 40 Ανάλυση απόκλισης - "Deviation analysis"

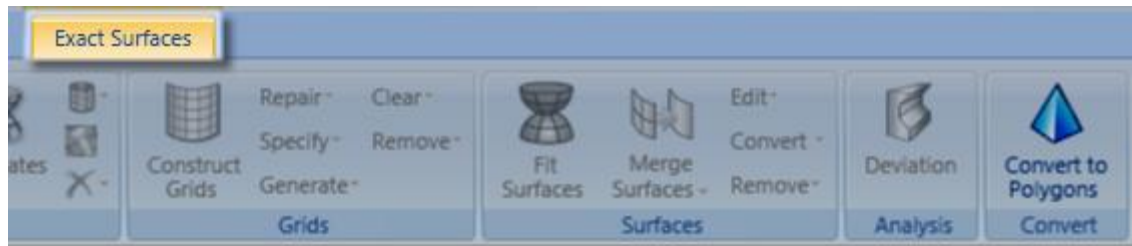
Οι αποκλίσεις στο παράδειγμα αυτό δεν υποδεικνύουν απαραίτητα κάποιο πρόβλημα . Σε αυτή την περίπτωση, το αντικείμενο που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της αντίστροφης μηχανικής είναι ακόμη καλύτερο από το πρωτότυπο, καθώς αναπτύχθηκε με την ακρίβεια της παραμετρικής διαδικασίας σχεδιασμού.

Αν οι αποκλίσεις δεν είναι αποδεκτές θα χρειαστεί ο χρήστης να εκτελέσει πρόσθετες εργασίες με τη χρήση του συστήματος CAD ώστε τα αποτελέσματα της σύγκρισης να γίνουν αποδεκτά.

Βήμα 3 . Υποθέτοντας ότι το CAD αντικείμενο συμφωνεί με τα αρχικά δεδομένα και τις τοπικές μηχανικές απαιτήσεις ( ή ότι αποκλίνει σύμφωνα με το σχεδιασμό ), η διαδικασία της μηχανικής καθιστάτε πλήρης και τερματίζεται.

#### 3.1.6.1 Φάση Επιφάνειας (Shape and Fashion Icon)

Αναφορικά με το Geomagic Studio 12, τα σύμβολα Shape και Fashion έχουν διαχωριστεί σε δύο διαφορετικά τμήματα. Το σύμβολο Shape ονομάζεται πλέον Exact Surfaces. Το σύμβολο Shape ονομάζεται πλέον Exact Surfaces.



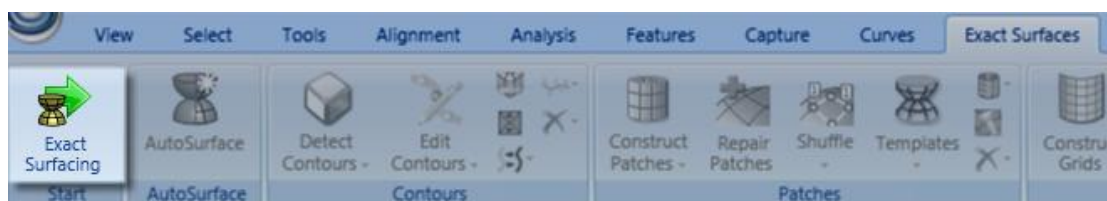
Εικόνα 41 Εντολή "Exact surfaces"

Το σύμβολο Fashion ονομάζεται πλέον Parametric Surfaces.



Εικόνα 42 Εντολή " Parametric surfaces"

Στο παράθυρο Exact Surfaces επιλέγουμε το σύμβολο Start Exact Surfacing για να ξεκινήσει η διαδικασία μετατροπής NURB επιφανειών.



Εικόνα 43 Εντολή "Exact surfacing"

Αν σε άλλη περίπτωση είναι επιθυμητό ένα παραμετρικό μοντέλο, επιλέγουμε το σύμβολο Start Parametric Surfacing για να δημιουργήσουμε παραμετρικές επιφάνειες.

### 3.2 Διερεύνηση της διαδικασίας τρισδιάστατης σάρωσης αντικειμένων

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας σαρώσαμε διάφορα αντικείμενα με σκοπό να μελετήσουμε συνολικά τη διαδικασία της τρισδιάστατης σάρωσης αντικειμένων με τη χρήση του σαρωτή Next Engine.



Εικόνα 44 Σαρωτής NextEngine Scanner

Η επιλογή κατάλληλου λογισμικού για την επεξεργασία των σαρωμένων δεδομένων δεν είναι μια απλή διαδικασία καθώς οι εκάστοτε απαιτήσεις του αντικειμένου μελέτης, επιβάλλουν και την ανάλογη χρήση ειδικού λογισμικού. Βέβαια, συνηθίζεται να συνοδεύει το κατάλληλο λογισμικό τον αντίστοιχο τρισδιάστατο ψηφιακό σαρωτή, όπως στην παρούσα διπλωματική εργασία με το NextEngine scanner και το ScanStudio Software.

Σε κάθε περίπτωση πάντως η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων από την απλή τους μορφή στην τελική μορφή των επιφανειών NURBS μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις φάσεις:

- 1) Σημεία και εικόνες
- 2) Πολύγωνο
- 3) Καμπύλες
- 4) Επιφάνειες NURB

Οι τέσσερις αυτές φάσεις ακολουθούνται από τα περισσότερα λογισμικά συστήματα που κυκλοφορούν στην αγορά και είναι απαραίτητες για την κατάλληλη επεξεργασία των εκάστοτε δεδομένων.

Στην πρώτη φάση, τα δεδομένα σε μορφή σημείων αλλά και εικόνων που συμβάλλουν στην αποθήκευση των σημείων αυτών, προετοιμάζονται, επεξεργάζονται και τροποποιούνται κατάλληλα ώστε να δημιουργήσουν το πολυγωνικό 3D μοντέλο. Τα δεδομένα που εξάγονται από τα σημεία που χειρίζεται το λογισμικό είναι δισδιάστατες εικόνες ή νέφη σημείων, τα οποία επεξεργάζονται κατάλληλα μέσω τεχνικών όπως η CT και η MRI οι οποίες χρησιμοποιούν έναν μεγάλο όγκο φωτογραφιών. Η τεχνική της MRI μάλιστα βρίσκει πολύ μεγάλη χρήση στην ιατρική και συγκεκριμένα στην σάρωση ανθρώπινων μελών για ιατρικούς σκοπούς.

Το ζητούμενο πολύγωνο κατασκευάζεται στη δεύτερη φάση και προετοιμάζεται ώστε να είναι έτοιμο για οποιαδήποτε εφαρμογή αναζητήσει ο χρήστης μέσω αντίστοιχου λογισμικού. Τέτοιες εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής μπορεί να είναι η ταχεία πρωτοτυποποίηση, 3D γραφικά ή animations ή ακόμα μπορεί και να χρησιμοποιούνται ως δεδομένα για να κατασκευαστούν CAD οντότητες (σημεία, επιφάνειες, δομικά στοιχεία) και επιφάνειες NURBS για CAD/CAM/CAE εφαρμογές.

Στα περισσότερα μηχανολογικά έργα που εφαρμόζεται η αντίστροφη μηχανική, οι CAD οντότητες κατασκευάζονται είτε απευθείας από νέφη σημείων είτε εμμέσως από πολυγωνικά μοντέλα κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας. Εν τέλει εισάγονται σε CAD λογισμικά ώστε να ολοκληρωθεί η γεωμετρική μοντελοποίηση. Για απλές γεωμετρίες, ένας πεπερασμένος αριθμός σημείων είναι ικανός για να κατασκευάσουμε ένα 3D CAD μοντέλο.

Για πιο πολύπλοκα αντικείμενα μελέτης όμως, οι επιφάνειες είναι απαραίτητες καθώς περισσότερες πληροφορίες απαιτούνται.

Οι επιφάνειες NURBS είναι τις περισσότερες φορές το επιθυμητό αποτέλεσμα της εφαρμογής της αντίστροφης μηχανικής για CAD/CAM/CAE εφαρμογές. Οι επιφάνειες αυτές κατασκευάζονται βασισμένες σε CAD οντότητες οι οποίες έχουν παρθεί από την

φάση των επιφανειών ή την φάση του πολυγωνικού πλέγματος. Η χρησιμότητά τους είναι διαδεδομένη διότι:

- Προσφέρουν μαθηματικές αναλύσεις τόσο σε αναλυτικά σχήματα όσο και σε σχήματα ελευθέρως μορφής.
- Προσφέρουν την ευελιξία σχεδιασμού μεγάλης ποικιλίας σχημάτων.
- Μειώνουν την αποθήκευση μεγάλης μνήμης λόγω της απομνημόνευσης προηγούμενων σχημάτων.
- Εξελίσσονται μέσω της χρήσης κατάλληλων αλγορίθμων.
- Δεν επηρεάζονται από ανεπιθύμητες αλλαγές.
- Αποτελούν γενικεύσεις γραμμών B-splines και Bezier επιφανειών και γραμμών.

### 3.2.1 Αντικείμενα που μελετήθηκαν

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σάρωσης, τα αντικείμενα που μελετήθηκαν ήταν τα εξής:

1. Ένας κύβος RubiK's Cube, του οποίου η κάθε πλευρά αποτελείται από 9 τετράγωνα με διακριτικό χρωματισμό.
2. Ένα χάρτινο κουτί με καπάκι
3. Ένας συμπαγής μεταλλικός κύλινδρος σκούρας απόχρωσης
4. Ένα ξύλινο πλαίσιο με έξι οπές στην επιφάνειά του
5. Ένας διπλός μεταλλικός κύλινδρος διαφορετικών διαμέτρων, ανοιχτόχρωμης απόχρωσης

Το κάθε ένα αντικείμενο αποτέλεσε μία ξεχωριστή διαδικασία κατά την οποία διαφορετικοί παράγοντες λήφθηκαν υπόψιν. Η διαδικασία προσέγγισης και στα πέντε αυτά αντικείμενα διαφοροποιήθηκε εξαιτίας πολλών παραγόντων. Για παράδειγμα, το είδος του υλικού του αντικειμένου, η τραχύτητα της επιφανείας, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κ.α. είναι μερικοί από τους παράγοντες που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα. Σε γενικό επίπεδο η διαδικασία σάρωσης παρέμενε η ίδια για κάθε αντικείμενο μελέτης.

που εξετάσαμε όμως κάθε αντικείμενο μελέτης είχε τις δικές του απαιτήσεις και ιδιαιτερότητες. Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας σαρώσαμε διάφορα αντικείμενα μελέτης και με διάφορους τρόπους, ώστε να εξετάσουμε πλήρως τις δυνατότητες του ψηφιακού τρισδιάστατου σαρωτή NextEngine.

Μέσω των αντικειμένων αυτών θα παρουσιαστεί πλήρως κάθε λεπτομέρεια καθώς και όλη διαδικασία σάρωσης αναλυτικά. Στη συνέχεια θα παραθέσουμε αναλυτικά τη διαδικασία σάρωσης και επεξεργασίας των δεδομένων για το πρώτο αντικείμενο, το Rubik's cube, ούτως ώστε να μπορέσουμε αναλύσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τις παρατηρήσεις που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της τρισδιάστατης σάρωσης, με γνώμονα τα τελικά αποτελέσματα σε κάθε μία από τις επιμέρους φάσεις. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι οι παραπάνω σαρώσεις έγιναν με σκοπό την κατανόηση της διαδικασίας που ακολουθείτε για τη σάρωση αντικειμένων.

### 3.2.2 Μελέτη και ανάλυση κύβου Rubik's cube

Για να εφαρμοστεί η τρισδιάστατη σάρωση του αντικειμένου χρειαστήκαμε:

1. Τον σαρωτή NextEngine με τα επιπρόσθετα αξεσουάρ του (AutoPositioner – PartGripper).
2. Το αντικείμενο που επρόκειτο να σαρωθεί



Εικόνα 45 Το προς εξέταση αντικείμενο χωρίς πούδρα - Rubik's cube

### 3.3 Προετοιμασία σαρωτή και αντικειμένου σάρωσης

Αρχικά βεβαιωθήκαμε ότι οι λυχνίες παροχής ρεύματος και το USB καλώδιο του σαρωτή είναι συνδεδεμένο στο πίσω μέρος του σαρωτή, και το πικάπ είναι συνδεδεμένο στο μπροστινό μέρος του σαρωτή χρησιμοποιώντας το μικρό καλώδιο δικτύου. Το μπλε φως στην κορυφή του σαρωτή θα πρέπει να είναι σε αναμμένο αλλιώς, θα πρέπει να ελέγξουμε τις συνδέσεις σας.

Το περιβάλλον του λογισμικού του τρισδιάστατου σαρωτή είναι πολύ απλό. Η τρισδιάστατη γεωμετρία του αντικειμένου εμφανίζεται στο κύριο παράθυρο, όπως και όλα τα εργαλεία που χρειαζόμαστε πρόσβαση τα οποία βρίσκονται στη επάνω γραμμή εργαλείων. Η γραμμή εργαλείων δείχνει την κατάσταση του προγράμματος. Το κάτω τμήμα του παραθύρου αποτελεί τη βιβλιοθήκη της εκάστοτε σάρωσης του τρέχοντος αρχείου.

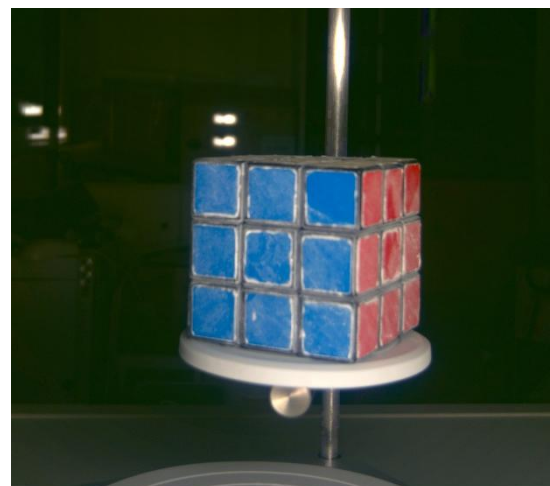
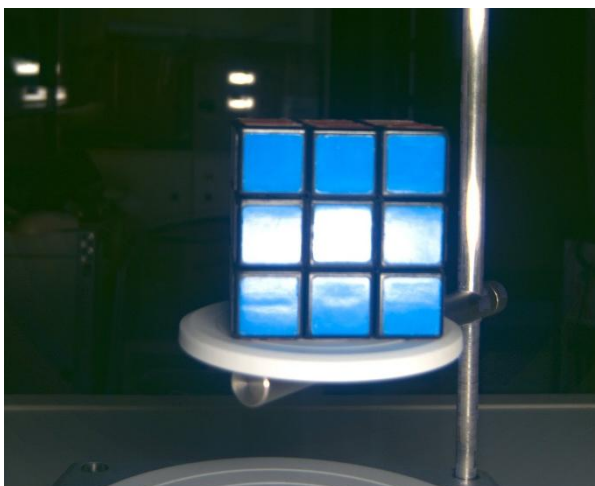
Αρχικά, κάναμε κλικ στο τριγωνικό κουμπί 'Σάρωση' στην κύρια γραμμή εργαλείων για να μπειτε στο παράθυρο σάρωσης. Ο σαρωτής φώτισε το αντικείμενο. Χρησιμοποιώντας έναν χάρακα εξασφαλίσαμε ότι το κέντρο της στρεφόμενης πλατφόρμας από το μπροστινό

μέρος του σαρωτή βρίσκεται στα επιτρεπτά όρια. Τοποθετήσαμε το αντικείμενό μας στο κέντρο του περιστρεφόμενου δίσκου. Στην οθόνη εμφανίστηκε η ζωντανή εικόνα-βίντεο από την κάμερα του σαρωτή. Χειροκίνητα ρυθμίσαμε τη θέση του σαρωτή έτσι ώστε το αντικείμενο να βρίσκεται στο κέντρο της προεπισκόπησης της οθόνης. Μπορούμε να ευθυγραμμίσουμε χειροκίνητα τη βάση στην οποία βρίσκεται το αντικείμενό μας, έτσι ώστε να είναι δυνατή η σάρωσή του από τον τρισδιάστατο σαρωτή.

### 3.3.1 Περιγραφή διαδικασίας σάρωσης

Στην κορυφή του παραθύρου σάρωσης, υπάρχει η επιλογή του είδους της σάρωσης ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Η περιοχή αυτή ελέγχει το πεδίο εφαρμογής της σάρωσης η οποία διακρίνεται σε τρία είδη: την ενιαία σάρωση (single), σάρωση βραχίονα (3 σαρώσεις από διαφορετικές οπτικές γωνίες, bracket), και η σάρωση 360 μοιρών (πολλαπλές ανιχνεύσεις όλα γύρω από το αντικείμενο). Οι διαιρέσεις της σάρωσης καθορίζουν τις γωνίες μεταξύ των σαρώσεων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των διαιρέσεων, τόσο μικρότερη είναι η γωνία μεταξύ των σαρώσεων. Επιλέξαμε ανάλυση χρησιμοποιώντας την μπάρα στο παράθυρο διαλόγου.

Ξεκινήσαμε με μία δοκιμαστική σάρωση κατά την οποία διαπιστώσαμε ότι θα πρέπει να γίνει χρήση πούδρας για την αποφυγή γυαλάδων στο αντικείμενο, ούτως ώστε να μπορέσει



**Εικόνα 46** Πριν και μετά την εφαρμογή πούδρας στο αντικείμενο Rubik's Cube ο σαρωτής να το συλλάβει.

Στο κάτω μέρος της σελίδας σάρωσης φαίνεται τον εκτιμώμενο χρόνο που η σάρωση θα λάβει , και το μέγεθος της σάρωσης όσον αφορά τη μνήμη που θα απαιτηθεί από το σύστημα. Επιλέξαμε να ακολουθήσουμε τις προεπιλεγμένες επιλογές του προγράμματος, όπως είναι η ανάλυση και η απόσταση του σαρωτή ώστε να είναι χρονικά δυνατή η σάρωση του αντικειμένου. Ελέγξαμε ότι η απόσταση μεταξύ του σαρωτή και του αντικειμένου ταιριάζει με τις υποδείξεις του προγράμματος. Για μεγάλα αντικείμενα μπορούμε να ανιχνεύσουμε διάφορα μέρη του αντικειμένου και στη συνέχεια να γίνει η ευθυγράμμιση τους αργότερα.

Επιλέξαμε το κουμπί «σάρωση-scan» στο επάνω μέρος της γραμμής των εργαλείων. Ο σαρωτής θα φωτίσει το αντικείμενο, λαμβάνοντας μια πρώτη φωτογραφία και, στη συνέχεια, θα σαρώσει με μία συστοιχία λείζερ το αντικείμενο. Η κάμερα παρακολουθεί τις διακυμάνσεις στην ανάκλαση του φωτός και το λογισμικό παράγει τη τρισδιάστατη μορφή του αντικειμένου.

Μετά από λίγα λεπτά ,στη γραμμή εργαλείων ολοκληρώνεται η σάρωση , και μια μικρογραφία της σαρωμένης επιφάνειας, εμφανίζεται στο κάτω αριστερό μέρος της οθόνη. Αυτό είναι αποκαλείται μια «οικογένεια σάρωσης» .

Για να γίνει εφικτή η βελτίωση της ποιότητας της σάρωσης θα πρέπει να δώσουμε προσοχή σε συγκεκριμένους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη σάρωση, όπως για παράδειγμα η απόσταση από τον σαρωτή. Θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι το αντικείμενό μας είναι στο κέντρο του περιστρεφόμενου δίσκου κατά προσέγγιση και το κέντρο του πικάπ σε κατάλληλη απόσταση από τον σαρωτή ανάλογα με το είδος της σάρωσής μας. Ακόμη, η επιφάνεια του αντικειμένου είναι πολύ ανακλαστική γεγονός που μπορούμε να αντιμετωπίσουμε με την εφαρμογή σκόνης κιμωλίας ή πούδρας στην επιφάνεια του αντικειμένου. Εναλλακτικά, μπορούμε να βάψουμε με σπρέι βαφής το αντικείμενό μας, με ένα ουδέτερο ματ γκρι χρώμα. Το λευκό χρώμα μπορεί να αντανάκλα πολύ φως πίσω στο σαρωτή , και το μαύρο μπορεί να μην αντικατοπτρίζει αρκετά ώστε να μπορέσει ο σαρωτής να αποδώσει το αντικείμενο επαρκώς. Ο σαρωτής δεν είναι στο ίδιο επίπεδο με το πικάπ, είτε δεν είναι παράλληλος με τον άξονα του πικάπ.

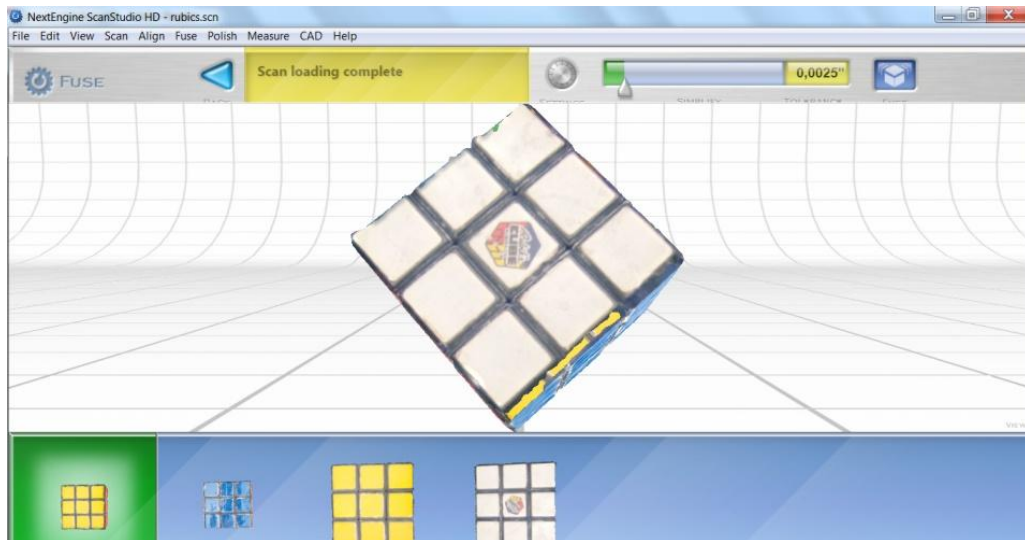
Επιλέξαμε να γίνει μία σάρωση 360 μοιρών με σκοπό ο σαρωτής να ανιχνεύσει τις περισσότερες πλευρές του αντικειμένου και 2 ακόμα μονές σαρώσεις έτσι ώστε να έχουμε

το βέλτιστο αποτέλεσμα στον ελάχιστο χρόνο λειτουργίας του σαρωτή. Ορίσαμε τον αριθμό των διαιρέσεων. Η τμηματοποίηση της διαίρεσης μεταφράζεται σε μοίρες ανάμεσα στις σαρώσεις. Όσο λιγότερες οι διαιρέσεις τόσες περισσότερες οι μοίρες που παρευρίσκονται μεταξύ κάθε σάρωσης. Για μια σάρωση βραχίονα, ο σαρωτής θα λάβει τον τρέχοντα προσανατολισμό του αντικειμένου ως τη κεντρική. Θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι το αντικείμενο μας είναι ορατό από όλες τις γωνίες. Περιστρέφοντας τον κύβο γύρω από τον περιστρεφόμενο δίσκο, βεβαιωνόμαστε ότι το αντικείμενο δεν βγει από το οπτικό πεδίο του σαρωτή, ενώ αυτός περιστρέφεται.

Μας δίνεται η δυνατότητα μέσα από τις επιλογές του προγράμματος να επιλέξουμε μια περιοχή εστίασης, σχεδιάζοντας ένα πλαίσιο γύρω από την περιοχή ενδιαφέροντος στο παράθυρο προεπισκόπησης το οποίο θα μας βοηθήσει να αγνοήσουμε όλες τις άλλες περιοχές οι οποίες δεν επιθυμούμε. Αν το αντικείμενό μας ήταν πολύ μεγάλο σε μέγεθος, τότε θα κάναμε χρήση δεικτών, έτσι ώστε να προσθέσουμε κάποια σημάδια για να βοηθήσουμε στην ανοικοδόμηση των σαρώσεων σε μετέπειτα φάση.

Μια πλήρης σάρωση διαρκεί γενικά 30 με 60 λεπτά, ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής, την ανάλυση και τον αριθμό των τμημάτων που επιλέξατε. Θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι ο σαρωτής και το αντικείμενο δεν έχουν διαταραχθεί κατά τη διάρκεια της σάρωσης. Ο σαρωτής θα σαρώσει μόνο τα στερεά που βρίσκονται στο πικάπ. Ο φωτισμός κατά τη διάρκεια της σάρωσης δεν θα πρέπει να μεταβάλλεται καθώς επηρεάζεται το αποτέλεσμα της σάρωσης.

Μπορούμε να δούμε τις σαρώσεις που έχουν γίνει, κάνοντας κλικ στη γραμμή της βιβλιοθήκης κάτω. Μετά την τελική σάρωση σε επεξεργασία στη γραμμή κατάστασης θα εμφανιστεί ξανά το όνομα του αρχείου γεγονός το οποίο δείχνει ότι η σάρωση έχει ολοκληρωθεί.

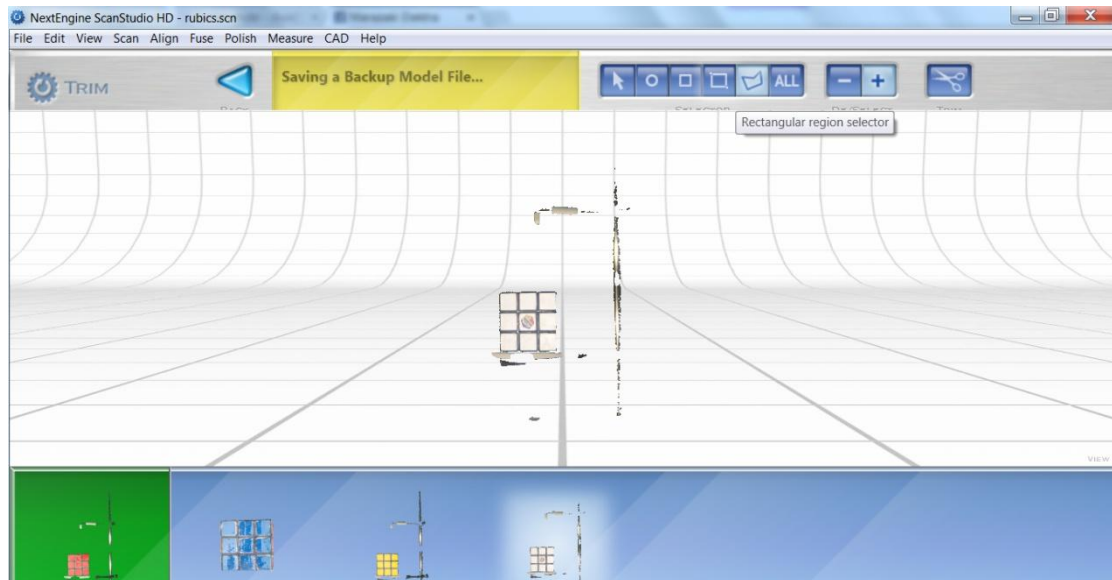


**Εικόνα 47 Ομάδα Σαρώσεων Rubik's cube**

Επαναλάβαμε τη διαδικασία της σάρωσης ώστε όλα τα μέρη του αντικειμένου να σαρωθούν και να απεικονιστούν μεταξύ όλων των οικογενειών σας σάρωσης. Στη συνέχεια θα χρειαστούμε δείκτες για την ευθυγράμμιση αυτών των σαρώσεων αργότερα.

### 3.3.1.1 Οικογένεια Σαρώσεων

Παρακάτω βλέπουμε το περιβάλλον του ScanStudio HD, στο οποίο έχουν γίνει οι επιμέρους σαρώσεις οι οποίες συνθέτουν την οικογένεια σαρώσεων του κύβου Rubik's cube.

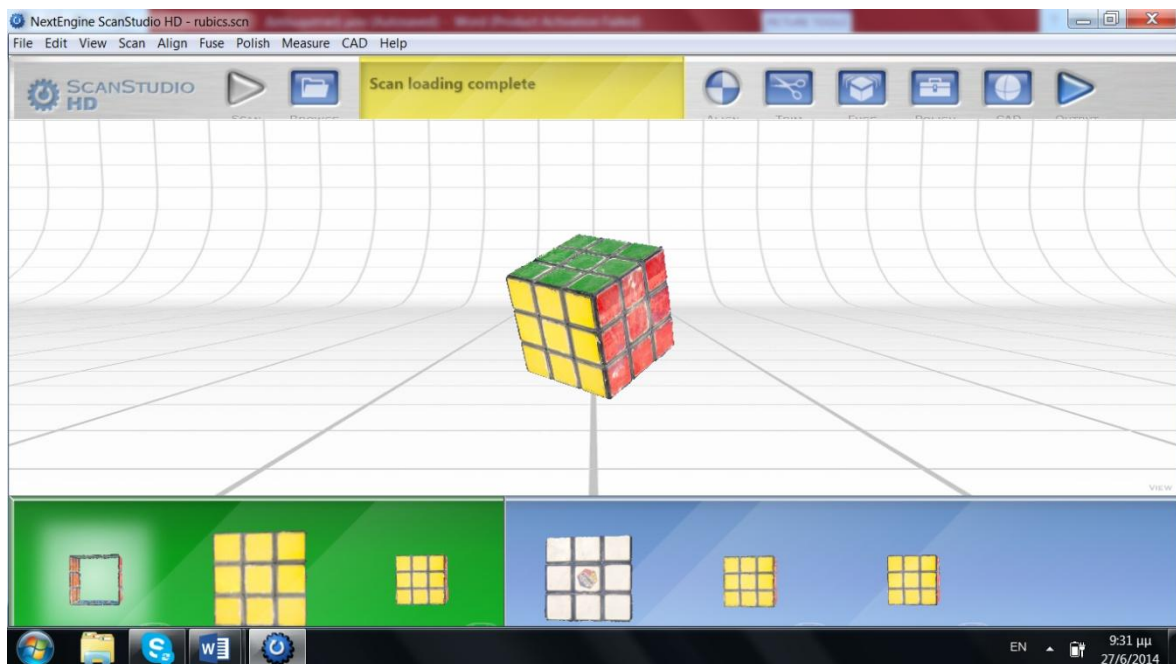


Εικόνα 48 Οικογένεια σαρώσεων πριν την εφαρμογή της εντολής "Trim"

Με πράσινο φόντο στη βιβλιοθήκη σάρωσης στο κάτω μέρος της οθόνης βρίσκουμε την υπάρχουσα οικογένεια σαρώσεων. Το λογισμικό συνδέεται αυτόματα με την πρώτη οικογένεια σάρωσης που δημιουργήσαμε. Μπορούμε να αποσυνδέσετε αυτή την οικογένεια σάρωσης κάνοντας δεξί κλικ στη μικρογραφία του στη βιβλιοθήκη σάρωση και την επιλογή « Αποσύνδεση » από το μενού περιβάλλοντος. Μπορούμε να δούμε τις επιμέρους σαρώσεις με διπλό κλικ στην οικογένεια σάρωσης στη βιβλιοθήκη. Η βιβλιοθήκη στη συνέχεια δείχνει τις μεμονωμένες σαρώσεις. Μπορούμε να δούμε κάθε λεπτομέρεια στο κύριο παράθυρο, επιλέγοντας μεμονωμένα τις σαρώσεις στη βιβλιοθήκη. Μπορούμε επίσης να συνδέσουμε και να αποσυνδέσουμε μεμονωμένες σαρώσεις με τον ίδιο τρόπο που κάναμε με τις οικογένειες σάρωσης. Μπορούμε επίσης να διαγράψουμε σαρώσεις που δεν χρειαζόμαστε, προκειμένου να εξοικονομήσουμε χώρο στο δίσκο, κάνοντας δεξί κλικ σε μια σάρωση ή σε μία οικογένεια σάρωσης και επιλέγουμε 'Διαγραφή' από το μενού περιβάλλοντος.

### 3.3.1.2 Περικοπή σαρώσεων

Στη συνέχεια, με τη χρήση ειδικών εργαλείων, δηλαδή της εντολής “Trim”, κόβουμε την ανεπιθύμητη γεωμετρία και τα περιττά στοιχεία που δεν χρειαζόμαστε να έχουμε στο αντικείμενό μας, όπως είναι για παράδειγμα η βάση στην οποία βρίσκεται ο κύβος μας. Ο σαρωτής αναπόφευκτα θα σαρώσει και στοιχεία τα οποία παρευρίσκονται στο πεδίο σάρωσής τα οποία μπορούμε εύκολα να διαγράψουμε. Επιλέγουμε την εντολή " Περικοπή " στην κύρια γραμμή εργαλείων είτε το εικονίδια που βρίσκονται για αυτή τη διαδικασία στο πάνω μέρος της οθόνης ανάλογα με τις ανάγκες που προκύπτουν.

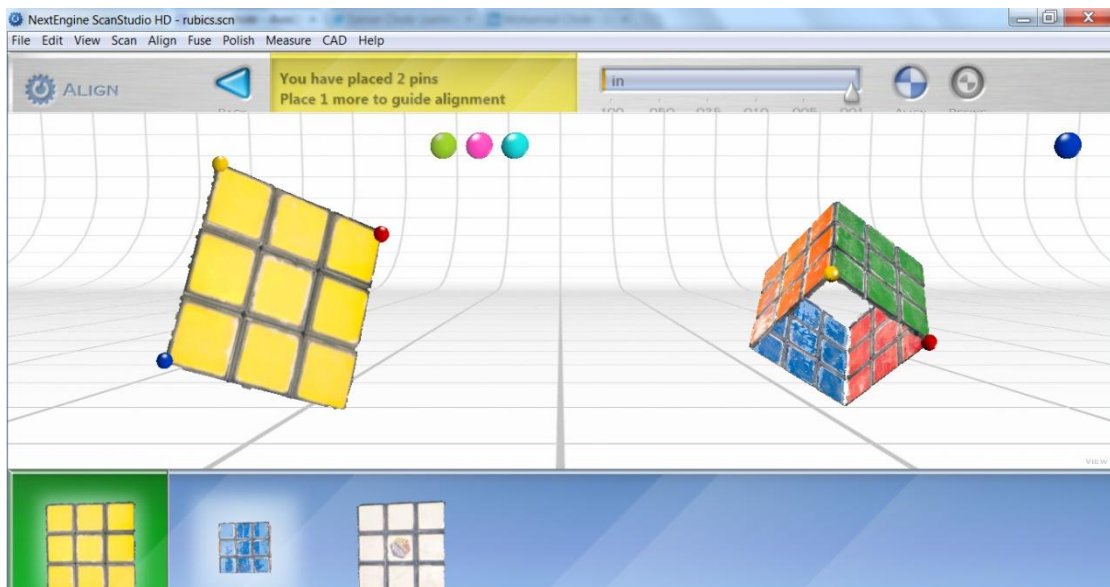


**Εικόνα 49 Αφαίρεση περιττής γεωμετρίας**

Επειδή Είναι πολύ δύσκολο να δούμε τι έχει επιλεγεί, καλό είναι να είμαστε πολύ προσεκτικοί για το τι θα αφαιρέσουμε. Μπορούμε βέβαια καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας να αναιρέσουμε τις εντολές που εφαρμόσαμε. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία αποκοπής μέχρις ότου έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Η ευθυγράμμιση πολλαπλών σαρώσεων θα μας δώσει το ολοκληρωμένο αποτέλεσμα της διαδικασίας του σαρωτή. Αυτή η διαδικασία έγινε με τη χρήση ειδικών πολύχρωμων κουκίδων, τις οποίες τις τοποθετήσαμε σε κατάλληλα σημεία πάνω στις επιμέρους σαρώσεις με αποτέλεσμα την ευθυγράμμιση των οικογενειών σάρωσης. Σύραμε τα κίτρινα , τα μπλε και τα κόκκινα σημεία από την πάνω δεξιά γωνία του παραθύρου κάθε γεωμετρίας στο ίδιο αντίστοιχο δείκτη του αντικειμένου στο νέο παράθυρο. Το λογισμικό διευκόλυνε την όλη διαδικασία με το να μεγεθύνει την εικόνα ώστε να γίνει η βέλτιστη

τοποθέτηση. Όταν οι τρεις τελείες εφαρμόστηκαν στις σωστές θέσεις, κάντε κλικ στο κουμπί «ευθυγράμμιση» στην κύρια γραμμή εργαλείων και το λογισμικό ευθυγράμμισε τις σαρώσεις σύμφωνα με τις κουκίδες που τοποθετήσαμε.



Εικόνα 50 Ευθυγράμμιση σαρώσεων με χρήση κουκίδων

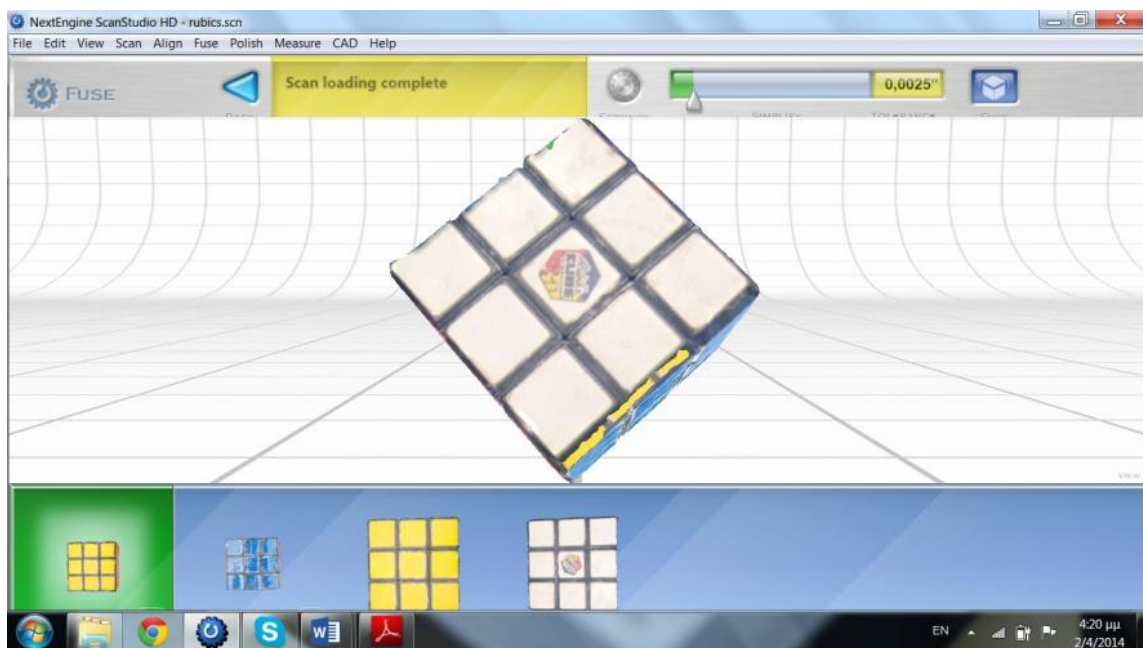
### 3.3.1.2 Fuse Σαρώσεων και Γέμισμα Οπών

Θα πρέπει να εφαρμοσθή πλεγματική συγχώνευση της σάρωσης πριν από τη διαδικασία δημιουργίας τρισδιάστατης γεωμετρίας. Το λογισμικό θα ενώσει μόνο τις οικογένειες σάρωσης που έχουν συνδεθεί δημιουργώντας μια οικογένεια σαρώσεων που αποτελείται από ένα τελικό πλέγμα.

Το λογισμικό σαρώνει το πλέγμα και αναζητά υπάρχουσες τρύπες όπου με τη βοήθεια κατάλληλου εργαλείου γεμίζει πλήρως τις οπές, με διαφορετικούς βαθμούς επιτυχίας. Όταν ολοκληρωθεί, κάντε κλικ στο κουμπί "πίσω" στην κύρια γραμμή εργαλείων.

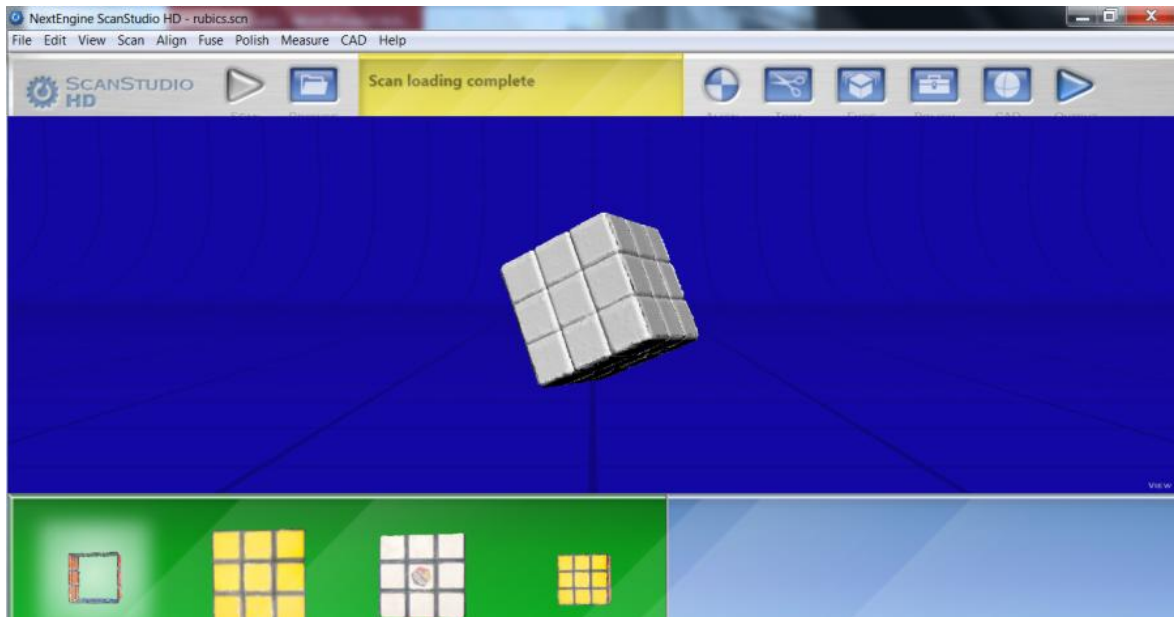
### 3.3.1.3 Αποθήκευση και μεταφορά σε προγράμματα cad

Μετά το τέλος της επεξεργασίας μπορούμε να μεταφέρουμε το αρχείο σε διάφορες μορφές (stl, obj κ.λ.π) σε προγράμματα CAD. Το εκάστοτε αρχείο που δημιουργείται από την σάρωση μπορεί να αποθηκευτεί σε διάφορες μορφές και να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα από τον χρήστη. Τέτοιες μορφές είναι η OBJ, η STL, η IGES και η STEP. Όλες αυτές οι μορφές είναι τύποι αρχείων που υποστηρίζονται από διάφορα άλλα προγράμματα και εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς.



Εικόνα 51 Τελικό αποτέλεσμα ένωσης των επιμένουν σαρώσεων

Στις επιλογές του Output μπορεί ο χρήστης με την χρήση κατάλληλου 3D printer να τυπώσει τρισδιάστατα την αιγυπτιακή γάτα ενώ σε περίπτωση που διαθέτει τα λογισμικά RapidWorks και SolidWorks, μπορεί αυτομάτως να εξάγει την αιγυπτιακή γάτα σαν αρχείο στα λογισμικά αυτά και να την επεξεργαστεί κατάλληλα.



Εικόνα 52 Διαφορετικός τρόπος αναπαράστασης του τελικού αποτελέσματος

### 3.4 Συμπεράσματα κατά τη διάρκεια της σάρωσης

-Αν υπάρχει φως του περιβάλλοντος που προέρχεται από παράθυρο στο χώρο σάρωσης, αυτό μπορεί να επηρεάσει το αποτέλεσμα. Φωτεινό λευκό φως σε ένα συνεφιασμένο απόγευμα φαίνεται να κάνουν ελαφριά αντικείμενα είναι πραγματικά μπλε. Αν συμβεί αυτό κλείστε τις περσίδες ή περιμένετε μέχρι να νυχτώσει για να ανιχνεύσει το δείγμα σας.

- Όταν επιλέγεται η σάρωση να γίνει με την υψηλότερη δυνατή ανάλυση, θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν ότι είναι πιθανό ο υπολογιστής να μη μπορέσει να χειριστεί τη διαδικασία αυτή με αποτέλεσμα το πρόγραμμα να συντρίβει. Να σημειώσουμε ότι δεν φαίνεται να υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των υψηλού και χαμηλού επιπέδου ανάλυσης.

- Θα πρέπει να αποθηκεύουμε το μοντέλο μας συχνά. Αφού ολοκληρώσουμε μια σειρά σαρώσεων, ή πριν και μετά την εκτέλεση μιας λειτουργίας συνίσταται η αποθήκευση του μοντέλου σας.

- Αν κάνουμε μια σάρωση 360 μοιρών, συστήνεται να επιλέξουμε 16 περιστροφές. Αυτό προσθέτει χρόνος στη σάρωση, αλλά καθιστά πολύ ευκολότερη την ευθυγράμμιση.

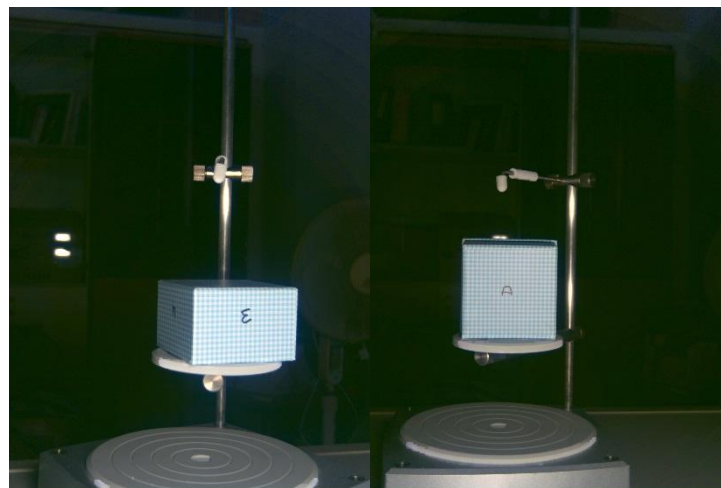
- Μερικές φορές το πρόγραμμα θα προσπαθήσει να ευθυγραμμίσει τις επιμέρους σαρώσεις αυτόματα με αποτέλεσμα να μη γίνει σωστά η σύνδεση.

### 3.5 Μελέτη αποτελεσμάτων σάρωσης υπολοίπων αντικειμένων

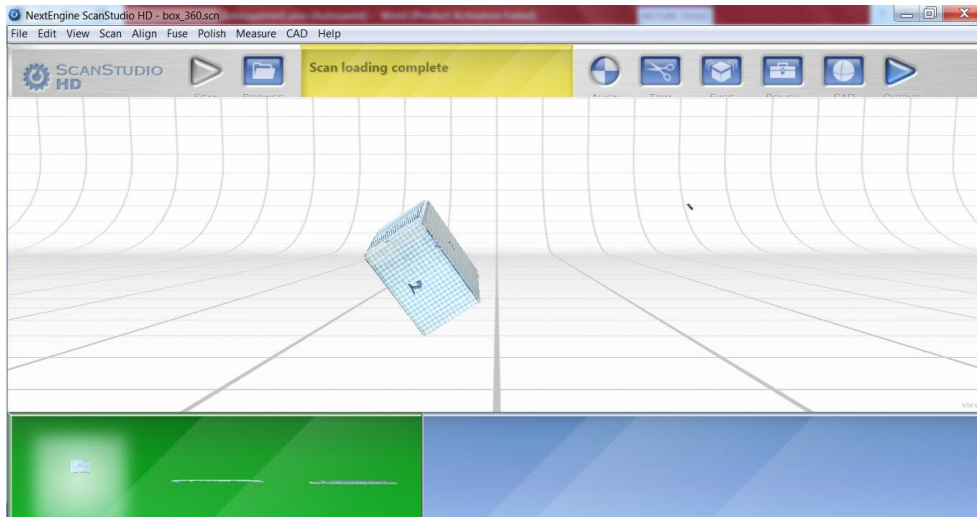
Για την καλύτερη κατανόηση των πιθανών προβλημάτων που μπορούν να προκύψουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σάρωσης, αποφασίσαμε να μελετήσουμε αντικείμενα διαφορετικής γεωμετρίας, αποτελούμενα από διαφορετικά υλικά. Κάθε ένα από αυτά τα αντικείμενα αποτέλεσαν τη βάση έτσι ώστε να μπορέσουμε να αντιληφθούμε τις ανάγκες που δημιουργείται ανάλογα με την κάθε περίπτωση.

#### 3.5.1 Σάρωση Χάρτινου Κουτιού

Αρχικά, επιλέξαμε να σαρώσουμε ένα αντικείμενο το οποίο έχει απλή γεωμετρία και το υλικό από το οποίο αποτελείται είναι ματ, ούτως ώστε ο ψηφιοποιητής να μην αντιμετωπίσει κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα να αναταράξει την γεωμετρία του. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σάρωσης.



Εικόνα 53 Χάρτινο κουτί από διαφορετικές οπτικές γωνίες



Εικόνα 54 Διαδικασία σάρωσης χάρτινου κουτιού

### 3.5.2 Σάρωση Μεταλλικού κυλίνδρου

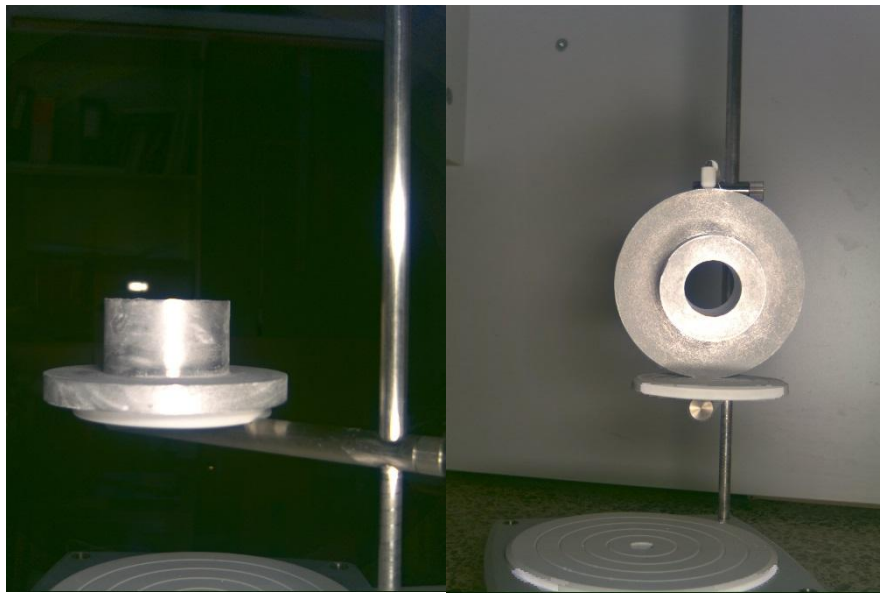
Το επόμενο αντικείμενο που επιλέξαμε ήταν ένας μεταλλικός κύλινδρος. Κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής σάρωσης διαπιστώσαμε προβλήματα τα οποία προέκυψαν από το πολύ σκούρο χρώμα του κυλίνδρου, αλλά και από την έντονη επιφανειακή γυαλάδα. Έτσι, αποφασίσαμε να εφαρμόσουμε πούδρα στο αντικείμενο για να μειώσουμε τις επιπτώσεις, ούτως ώστε να λάβουμε τη βέλτιστη δυνατή σάρωση του αντικειμένου.



Εικόνα 55 Μεταλλικός κύβος από διαφορετικές όψεις

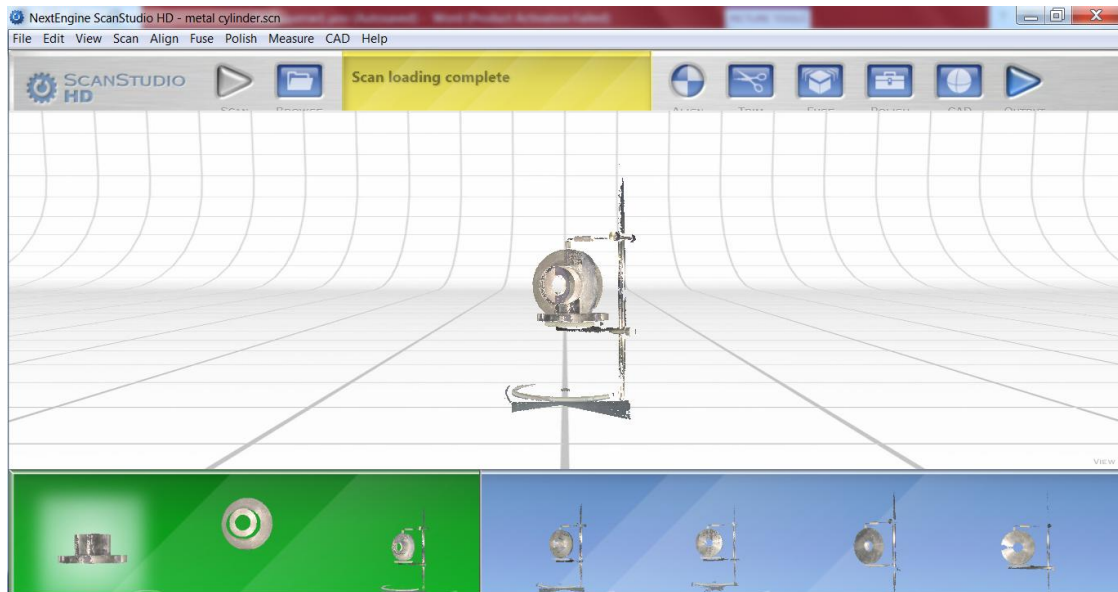
### 3.5.3 Σάρωση μεταλλικού κυλινδρικού αντικειμένου με οπή

Έπειτα επιλέξαμε να σαρώσουμε ένα μεταλλικό κυλινδρικό αντικείμενο διαφορετικής διαμέτρου, ανοιχτού μεταλλικού χρώματος. Εφαρμόσαμε στην επιφάνεια του ειδική πούδρα ούτως ώστε να μειώσουμε τις επιφανειακές γυαλάδες στο αντικείμενο.



**Εικόνα 56** Μεταλλικός διπλός κύλινδρος μετά την εφαρμογή πούδρας από διαφορετικές όψεις

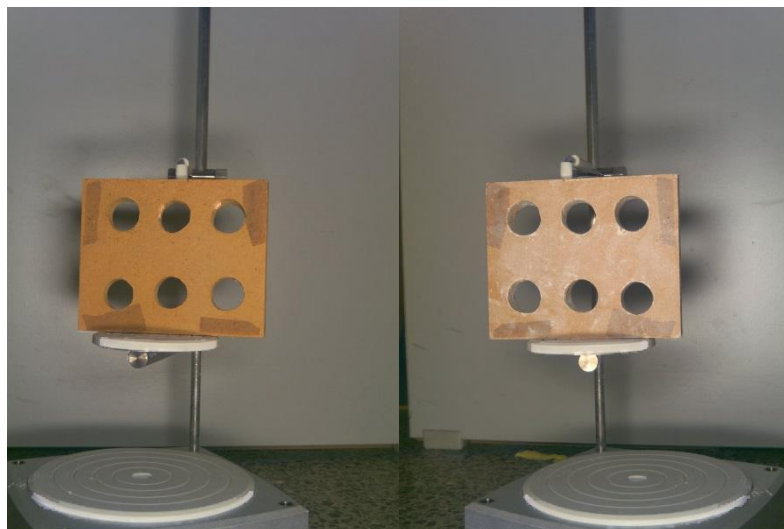
Παρακάτω παρατίθεται το αποτέλεσμα του σκαναρίσματος του αντικειμένου στο πρόγραμμα Scanstudio HD. Με πράσινο χρώμα υποδεικνύεται η οικογένεια σαρώσεων του αντικειμένου.



Εικόνα 57 Παρουσίαση αποτελεσμάτων της διαδικασίας στο πρόγραμμα Scanstudio HD

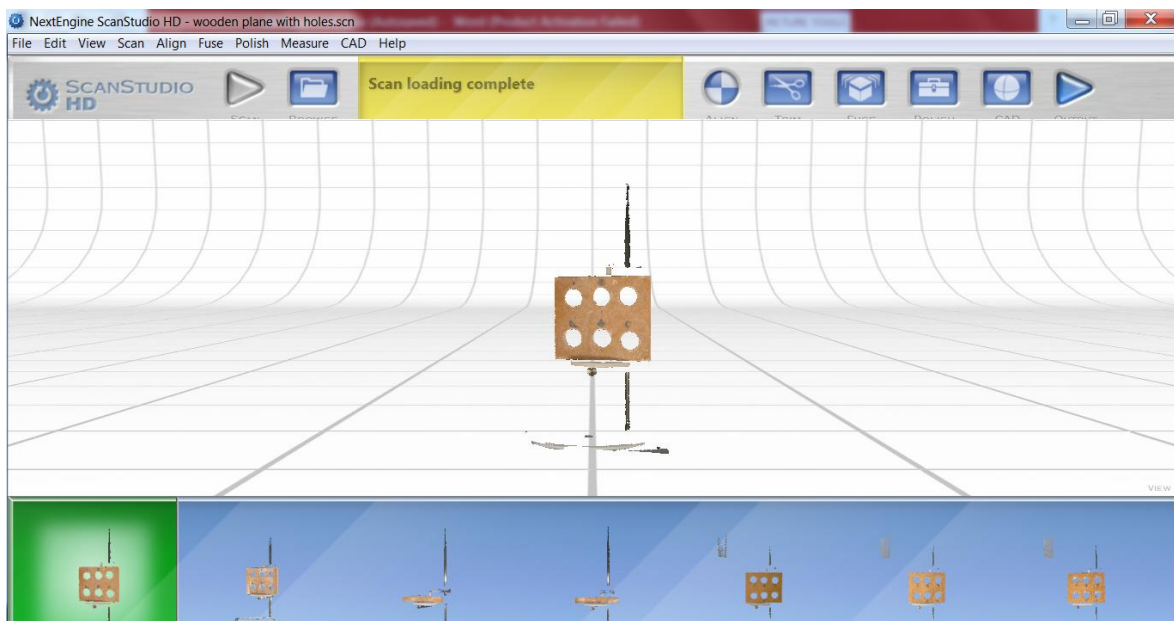
### 3.5.4 Σάρωση ξύλινου πλαισίου με οπές

Εδώ, επιλέξαμε να ψηφιοποιήσουμε ένα αντικείμενο διαφορετικού υλικού από ότι τα προηγούμενα δύο μεταλλικά αντικείμενα, το οποίο είναι κατασκευασμένο από ξύλο. Το ξύλο αποτελεί ένα λιγότερο λείο υλικό σε σχέση με το μέταλλο και συνεπώς η σάρωση του έχει καλύτερα αποτελέσματα. Το συγκεκριμένο αντικείμενο είναι ένα ξύλινο παραλληλόγραμμο με 6 οπές όμοιων διαμέτρου.



Εικόνα 58 Παρουσίαση ξύλινου αντικειμένου με οπές κατά τη διαδικασία της σάρωσης του, πριν και μετά την εφαρμογή πούδρας

Εικόνα Ξύλινο πολυγωνικό πλαίσιο με οπές αριστερά πριν την εφαρμογή πούδρας και δεξιά μετά την εφαρμογή πούδρας. Το αποτέλεσμα της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης για το ξύλινο αντικείμενο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Κατά τη διάρκεια των επιμέρους ψηφιοποιήσεων προέκυψαν προβλήματα εντοπισμού των εσωτερικών επιφανειών των έξι τρυπών. Οι επιφάνειες αυτές λόγω της γεωμετρικής τους θέσης δημιουργούν δυσκολία στον τρισδιάστατο σαρωτή με αποτέλεσμα να χρειάζονται περισσότερες σαρώσεις από διαφορετική γωνία σάρωσης για να μπορέσει να απεικονίσει τις επιφάνειες αυτές.



Εικόνα 59 Αποτελέσματα ψηφιοποίησης του ξύλινου παραλληλόγραμμου με οπές

## 3.6 Παραμετρική μεταφορά του Rubik's cube

### 3.6.1 Μεταφορά στο Geomagic Studio V.12

Μετά από την ολοκλήρωση της διαδικασίας ψηφιοποίησης των αντικειμένων που επιλέξαμε να σαρώσουμε, η επόμενη φάση είναι η επεξεργασία των σαρώσεων μέσω του προγράμματος Geomagic Studio 12. Παρακάτω παρουσιάζουμε τα βήματα του Geomagic Studio 12 για τη δημιουργία παραμετρικών επιφανειών.

Το Geomagic Studio 12 ενσωματώνει την πρόθεση του σχεδιασμού του σχεδιαστή, δηλαδή τη μετάβαση από ένα υπάρχον φυσικό αντικείμενο σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο. Παρακάτω παρουσιάζονται εν συντομία τα βήματα που ακολουθούνται:

- Βήμα 1, Εντοπισμός Περιφερειών

Το Geomagic Fashion εντοπίζει αυτόματα τις διάφορες περιοχές της επιφάνειας με βάση την καμπυλότητα του μοντέλου. Οι καμπύλες περιγράμματος εξάγονται και χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τα όρια της επιφάνειας.



**Εικόνα 60 Καμπύλες περιγράμματος αντικειμένου**

- Βήμα 2, Επεξεργασία Καμπύλων

Ισοϋψείς καμπύλες μπορεί να τελειοποιηθούν ώστε να εξασφαλίζεται ότι είναι ιδανικά τοποθετημένες κατά μήκος των άκρων και των χαρακτηριστικών. Όσα περιγράμματα δεν εξάγονται αυτόματα μπορούν να προστεθούν χειροκίνητα σχεδιάζοντας τις ευθείες απευθείας πάνω στο πλέγμα.



**Εικόνα 61 Επεξεργασία καμπύλων**

- Βήμα 3, Κατάταξη των περιφερειών

Περιφέρειες Πρωτοβάθμιων επιφανειών ταξινομούνται σύμφωνα με οκτώ διαφορετικούς τύπους επιφάνεια: επιφάνειες, κύλινδροι, κώνοι, σφαίρες, επιφάνειες ελεύθερης μορφής, εξωθήσεις, ιχνογραφημένες εξωθήσεις, και περιστροφές. Κάθε επιφάνεια εμφανίζεται σε ένα διαφορετικό χρώμα για εύκολη της αναγνώρισης της.



- Βήμα 4, Δημιουργία Επιφανειών

**Εικόνα 62 Κατάταξη περιφερειών**

Τέλος, οι πρωτογενείς επιφάνειες τοποθετούνται με βάση παραμέτρους όπως είναι η ανοχή εφαρμογής, τα ακραίων ποσοστά, τις διαστάσεις και τα δυσδιάστατα προφίλ του εκάστοτε αντικειμένου. Η ανάλυση αποκλίσεων δείχνει την ακρίβεια των τοποθετημένων επιφανειών σε σχέση με το πρωτότυπο.



**Εικόνα 63 Δημιουργία επιφανειών**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ

Έπειτα από την ολοκλήρωση της διαδικασίας σάρωσης των αντικειμένων μελέτης, συνεχίσαμε τη διαδικασία με τη χρήση του προγράμματος Geomagic Studio 12. Το περιβάλλον διεργασίας του Geomagic Studio 12 παρέχει πάρα πολλές εντολές οι οποίες εφαρμόζονται για διάφορους σκοπούς. Η λογική της διαδικασίας επεξεργασίας ενός μοντέλου στο Geomagic Studio αποδίδει όλες εκείνες τις εντολές που έχουμε εφαρμόσει στο λογισμικό NextEngine ScanStudio, δηλαδή τις εντολές Align, Trim, Fuse κλπ. Το Geomagic Studio αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ του NextEngine Scan Studio HD και CAD προγραμμάτων.

Σε πρώτο στάδιο, μεταφέραμε το αρχείο του rubik's cube στο πρόγραμμα Geomagic Studio 12. Τα πολυγωνικά πλέγματα μπορούν να εύκολα να εισαχθούν στο Geoagic Studio. Αφού η ποιότητα των πολυγωνικών πλεγμάτων δεν είναι γνωστή, προτείνεται να γίνει ανάλυση του πλέγματος αναφορικά με προβλήματα που μπορεί να προκύψουν, όπως τεμνόμενα τρίγωνα, αιχμές, και ιδιαίτερα "τσαλακωμένες» άκρες.

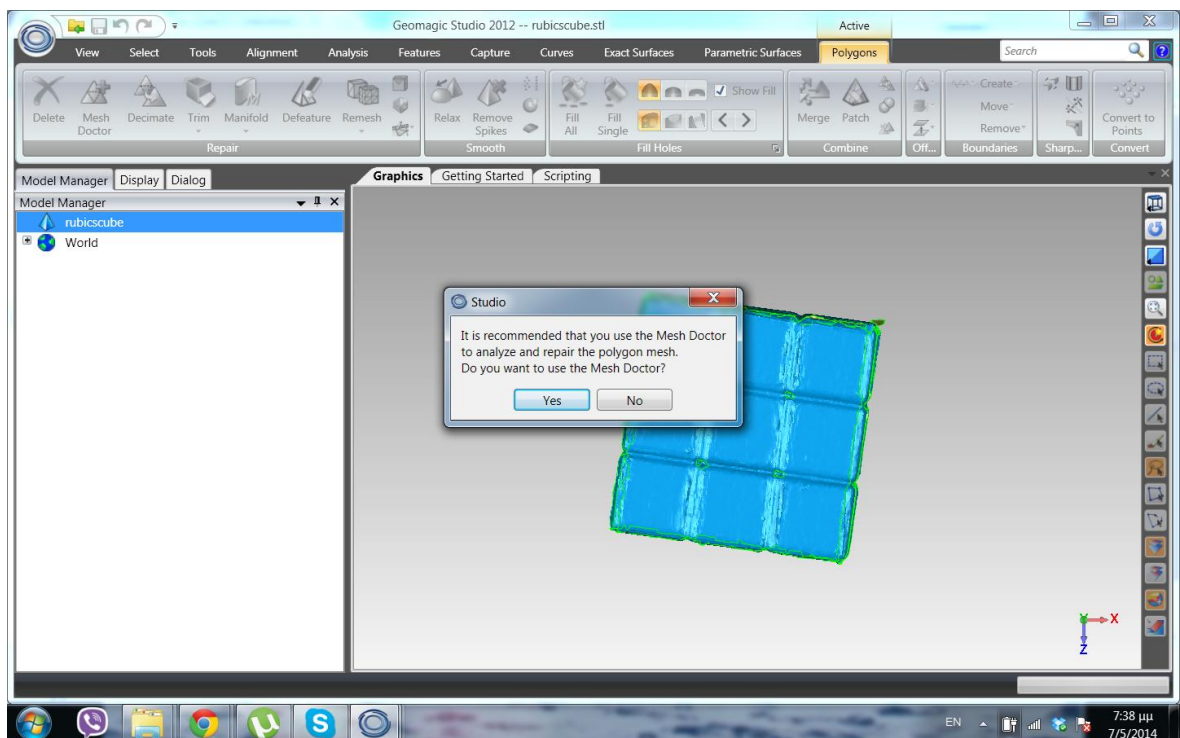
Έχοντας εγκαταστήσει με επιτυχία το λογισμικό Geomagic ο χρήστης τρέχει το παρών λογισμικό και εκτελεί τα εξής γενικά βήματα:

- 1) Εισαγωγή του αρχείου σάρωσης.
- 2) Καθαρισμός του νέφους σημείων.
- 3) Δημιουργία πολυγωνικού μοντέλου χρησιμοποιώντας την εντολή Wrap.
- 4) Εφαρμογή του Mesh Doctor για εντοπισμό και καθαρισμό του πλέγματος.
- 5) Χρήση άλλων εντολών που παρέχονται από το πρόγραμμα σχετικά με το πλέγμα.
- 6) Δημιουργία του Exact/Parametric surface phase.

Οι παραπάνω εντολές αποτελούν τις βασικές εντολές που χρειάζεται κάθε αντικείμενο μελέτης να υποστεί, ώστε να μπορέσει να γίνει συμβατό με άλλα προγράμματα λογισμικού όπως είναι και το Solidworks.

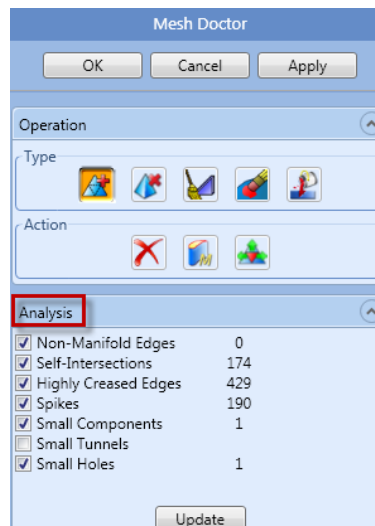


Εικόνα 64 Εντολή «Mesh Doctor», η μπάρα εντολών του Geomagic Studio



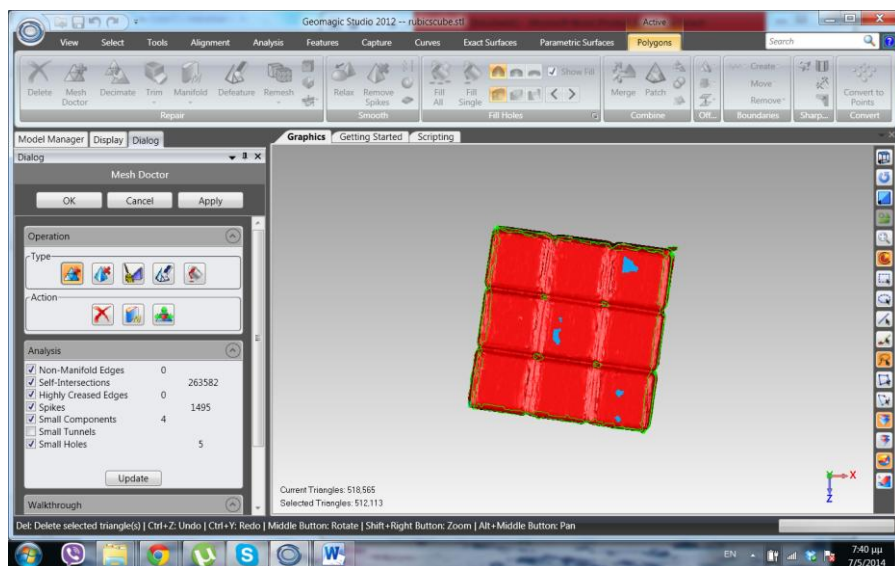
Εικόνα 65 Μελέτη Rubik's cube στο Geomagic Studio

Το Mesh Doctor είναι ένα εργαλείο αυτόματης βελτίωσης πολυγωνικού πλέγματος. Το εργαλείο αυτό εντοπίζει και διορθώνει αυτόματα σφάλματα, και εν συνεχεία εμφανίζει τον αριθμό σφαλμάτων που ανιχνεύθηκαν στην οθόνη του αριθμού χαρακτηριστικών.



Εικόνα 66 Πλαίσιο εντολών «Mesh Doctor»

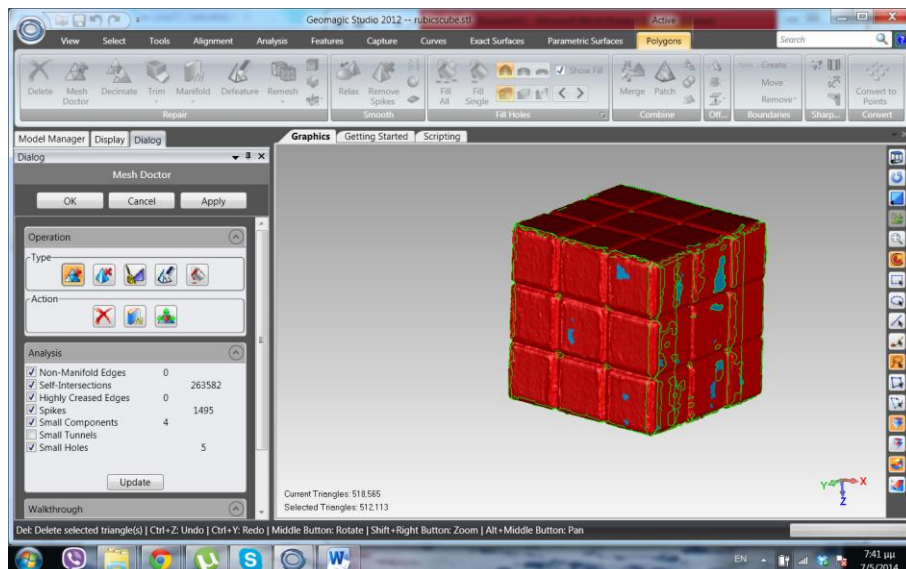
Μέσω των εντολών αυτών έχουμε τη δυνατότητα να εφαρμόσουμε αυτόματη βελτίωση στα υπάρχοντα ελαττώματα, όπως ακόμη μπορούμε να διορθώσουμε τα λάθη ένα - ένα με το χέρι.



Εικόνα 67 Εμφάνιση αποτελεσμάτων «Mesh Doctor»

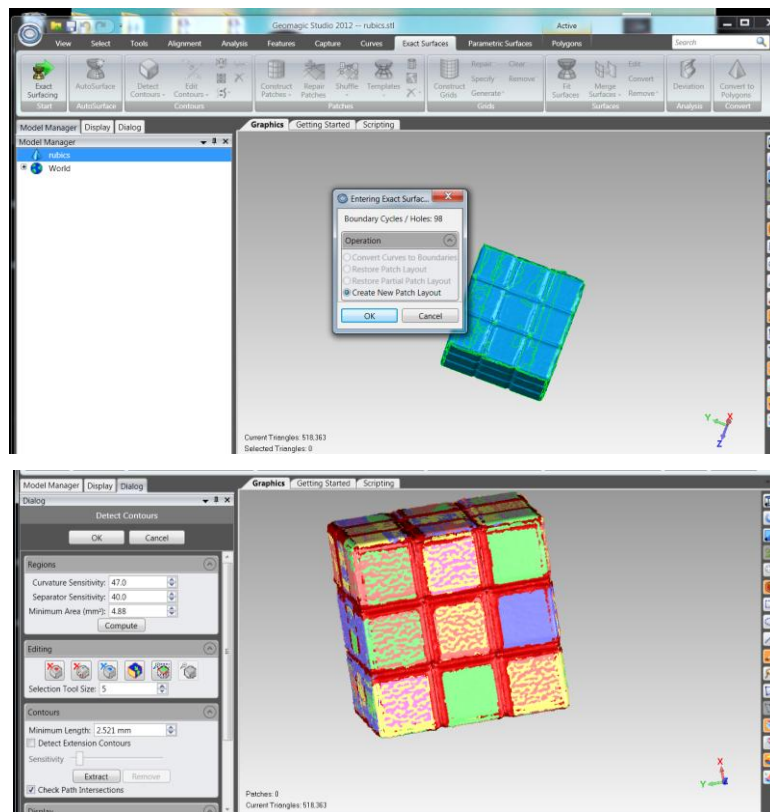
Με την περάτωση της εντολής του Mesh Doctor, το λειτουργικό σύστημα μας εμφανίζει τα προβλήματα τα οποία εντοπίστηκαν και τα οποία θα χρειαστεί να διορθωθούν. Για πιο σημαντικά ελαττώματα, η ReWrap εντολή μπορεί να βελτιώσει τις τριγωνοποιήσεις και να μειώσει τα ελαττώματα. Στη συνέχεια, εφαρμόσαμε ξανά την εντολή Mesh Doctor και διορθώνουμε τα ελαττώματα με τις νέες τριγωνοποιήσεις για να εξασφαλίσουμε υψηλής ποιότητας πλέγματα. Το επόμενο βήμα μετά την ανάλυση, επεξεργασία και επιδιόρθωση

του πολυγωνικού πλέγματος του αντικειμένου Rubic's cube, ήταν η εξαγωγή επιφανειών από το πολυγωνικό πλέγμα με την εντολή «Exact Surfacing». Όπως βλέπουμε από το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας



Εικόνα 68 Μοντέλο πριν την εφαρμογή της εντολής «Rewrap»

Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε ακόμη δύο φορές ούτως ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι δυνατή η περαιτέρω βελτίωση των ελαττωμάτων του μοντέλου. Εφόσον περατώθηκαν οι απαιτούμενες επαναλήψεις καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η διαδικασία τρισδιάστατης σάρωσης είχε ολοκληρωθεί με επιτυχία. Συμπερασματικά, προτείνετε ο επαναπροσδιορισμός και η εξομάλυνση των επιμέρους στοιχείων του πολυγωνικού πλέγματος ούτως ώστε με αυτό τον τρόπο δεν θα καταλήξουμε με πάρα πολλά σημεία του δικτύου κοντά μεταξύ τους, τα οποία θα επικαλύπτονται. Επιπλέον, μια ακόμη εφικτή λύση θα είναι να χειριστούμε τα όρια του κάθε «δικτύου» με τέτοιο τρόπο ώστε παίρνουμε την ίδια εφαπτομένη με τα γειτονικά του δίκτυα το οποίο θα δημιουργήσει ένα ομαλότερο τελικό μοντέλο.



Εικόνα 69 Διαδικασίας εκτέλεσης της εντολής «Exact Surfaces», πριν και μετά

Η αντίστροφη μηχανική, ως μία από τις προηγμένες μεθόδους σχεδιασμού, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην ανάπτυξη και στον επανασχεδιασμό καινοτόμων προϊόντων. Οι ψηφιακοί σαρωτές αποτελούν τεχνολογίες γενικής εφαρμογής, οι οποίοι όμως απαιτούν το κατάλληλο λογισμικό επεξεργασίας σημειακών δεδομένων, ούτως ώστε οι δυνατότητές τους να μπορούν πλήρως να αξιοποιηθούν από τον χρήστη.

Όταν οι σαρωτές προορίζονται με σκοπό τη μοντελοποίηση ψηφιακών δεδομένων, τότε εργαλεία δεύτερης γενιάς λειτουργούν επαρκώς για απλή απεικόνιση μοντέλων. Στην παρούσα διπλωματική, μελετήθηκαν οι διαδικασίες τρισδιάστατης μοντελοποίησης επιφανειών από νέφη σημείων χρησιμοποιώντας μεθόδους αντίστροφης μηχανικής. Όταν τα ψηφιακά σαρωμένα μοντέλα χρησιμοποιούνται με σκοπό τη δημιουργία πλήρως παραμετρικών στερεών μοντέλων CAD, καθίσταται αναγκαία η χρήση εργαλείων τρίτης γενιάς, τα οποία προσφέρουν καλύτερα αποτελέσματα και εξοικονόμηση χρόνου στον χρήστη.

Από την άλλη πλευρά , η σχηματική μηχανική και ο σχεδιασμός παραμετροποίησης αποσκοπεί στη δημιουργία πλήρως παραμετρικών στερεών μοντέλων από σαρωμένα σημεία δεδομένων και την εξαγωγή τους σε CAD πακέτα που υποστηρίζουν μηχανική μερικού ανασχεδιασμού , τα οποία βασίζονται σε δέντρο χαρακτηριστικών.

Παρά το γεγονός ότι , η μετατροπή σημειακών δεδομένων σε NURB μοντέλα επιφανειών έχει αυτοματοποιηθεί , η δημιουργία παραμετρικών στερεών μοντέλων από σημειακά δεδομένα δεν μπορεί και δεν θα είναι πλήρως αυτοματοποιημένη. Παρά τις τεχνικές προκλήσεις στην εφαρμογή , η αρχική πρόθεση του σχεδιασμού ενσωματώνεται στα σημειακά δεδομένα με απώτερο σκοπό την ανάκτησή της στο τελικό παραμετρικό στερεό μοντέλο. Οι σχεδιαστές θα πρέπει να απαλλαχθούν από τον πολύωρο χειρισμό δεδομένων και ως εκ τούτου, το ιδανικό σενάριο είναι η ύπαρξη εργαλείων λογισμικού που φροντίζουν τις εντατικές εργασίες που απαιτούνται, όπως η διαχείριση του νέφους σημείων ,η διαδικασία τριγωνοποίησης , κλπ. , με αυτοματοποιημένο τρόπο ώστε να προσφέρουν επαρκείς δυνατότητες που να επιτρέπουν στους σχεδιαστές να ανακτήσουν με δια δραστικό τρόπο τις προθέσεις του σχεδιασμού. Ίσως μελλοντικά, να αναπτυχθούν νέοι αλγόριθμοι που θα διαβάζουν το αντικείμενο απευθείας σαν συμπαγές μοντέλο και να το ψηφιοποιούν ώστε μέσω κατάλληλων μηχανολογικών λογισμικών να το επεξεργάζονται με οποιοδήποτε γνωστό μηχανολογικό μέσο. Κλείνοντας, θα πρέπει να αναφέρουμε πως η ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι αυτή που θα καθορίσει και την εξέλιξη της Αντίστροφης Μηχανικής, με νέα μοντέλα σάρωσης, νέους αλγορίθμους και νέες τεχνικές οι οποίες θα καθιστούν δυνατή την απευθείας δημιουργία στερεών παραμετρικών μοντέλων χωρίς την απαίτηση ύπαρξης ενδιάμεσων πολύπλοκων και χρονοβόρων διαδικασιών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bosche, F. N. (2008). *Automated Recognition*.
2. Chader, M. (2008). The Value of 3rd Generation, Parametric Modeling from 3D Scan Data. *SME conference Rapid 2008* (p. 15). Society of Manufacturing Engineers. Retrieved from [https://www.rapidform.com/media/relatedfiles/downloadweb/Whitepaper\\_on\\_3G\\_Reverse\\_Modeling\\_by\\_Rapidform.pdf](https://www.rapidform.com/media/relatedfiles/downloadweb/Whitepaper_on_3G_Reverse_Modeling_by_Rapidform.pdf).
3. Chang, K.-H. (2012). A Review on Shape Engineering and Design Parameterization in Reverse Engineering. In A. C. Telea, *Reverse engineering - Recent Advances and Application* (pp. 175-198). Croatia: In Tech.
4. Fernandes, V. R. (2008). *Reverse Engineering*. Springer.
5. Lankinen, J. (2009). *3D Surface Modeling From Point Clouds*.
6. W. Ma, J.-P. K. (1998). NURBS Curve and Surface Fitting for Reverse Engineering. *Advanced Manufacturing Technology*.
7. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1442>
8. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1412>
9. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=2066>
10. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1409>
11. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1411>
12. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1404>
13. [http://www.researchgate.net/post/How\\_to\\_convert\\_points\\_cloud\\_from\\_3D\\_scanner\\_into\\_CAD\\_Model](http://www.researchgate.net/post/How_to_convert_points_cloud_from_3D_scanner_into_CAD_Model)
14. <http://forum.david-3d.com/viewtopic.php?t=2382>
15. <https://www.nextengine.com/products/scanstudio-cad-tools/specs/overview#>  
<https://www.nextengine.com/products/scanstudio-cad-tools/demo>
16. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1431>
17. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1433>
18. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1438>
19. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1441>

19. Yizhou Yu. Surface reconstruction from unorganized points using self-organizing neural networks. In IEEE Visualization 99, Conference Proceedings, pages 61–64, 1999.
20. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1424>
21. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1530>
22. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=1429>
23. <http://support1.geomagic.com/ics/support/kbanswer.asp?deptID=5668&task=knowledge&questionID=2150>
24. <http://wenku.baidu.com/view/e61fe67301f69e314332941f.html>[http://en.wikipedia.org/wiki/Reverse\\_engineering](http://en.wikipedia.org/wiki/Reverse_engineering)
25. [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner#Triangulation](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner#Triangulation)
26. [http://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform\\_rational\\_B-spline](http://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline)
27. Dassault, <http://www.3ds.com/>
28. <http://support1.geomagic.com/link/portal/5605/5668/Article/320/In-v11-how-can-I-enter-into-Fashion-phase>
29. [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner)
30. [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner)
31. [http://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform\\_rational\\_B-spline](http://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline)
32. <http://www.nextengine.com/products/scanstudio-hd/specs/scanstudio-hd-pro>

## 5.1 Προτεινόμενα video

Video σχετικά με το NextEngine scanner, το Scanstudio HD, το Geomagic Studio και το Solidworks:

- 1.<http://www.youtube.com/watch?v=NpbrkbYv-e0>
- 2.<http://www.youtube.com/watch?v=4XZfR1at-AQ>
- 3.<http://www.youtube.com/watch?v=298aUVRcgKE&NR=1>
- 4.<http://www.youtube.com/watch?v=4ETyIg85I-g&feature=related>
- 5.<http://www.youtube.com/watch?v=Qr1kxsL6Ui8>
- 6.<http://www.youtube.com/watch?v=6rw3vPnDmEg>
- 7.<http://www.youtube.com/watch?v=uXtQR7mpNZg&feature=related>
- 8.<http://www.youtube.com/watch?v=m5gBiDb-tTU>
- 9.<http://www.geomagic.com/en/community/videos/geomagic/>
- 10.<http://www.youtube.com/watch?v=m5gBiDb-tTU> (Geomagic Studio - Mesh Doctor and ReWrap)
- 11.<http://www.youtube.com/watch?v=S4t7QGiSYgQ> (Geomagic Studio - Scan Registration and Merge)
- 12.<http://www.geomagic.com/en/community/videos/edit-sketch-command-in-geomagic-studio-2012/>
- 13.[Edit Sketch Command In Geomagic Studio 2012](#)
- 14.<http://www.geomagic.com/en/community/videos/using-remesh-in-geomagic-studio-2012/>
- 15.[Using Remesh In Geomagic Studio 2012](#)
- 16.<http://support1.geomagic.com/link/portal/5605/5668/Article/1286/Geomagic-Studio-Support-Video-Learning-Center>