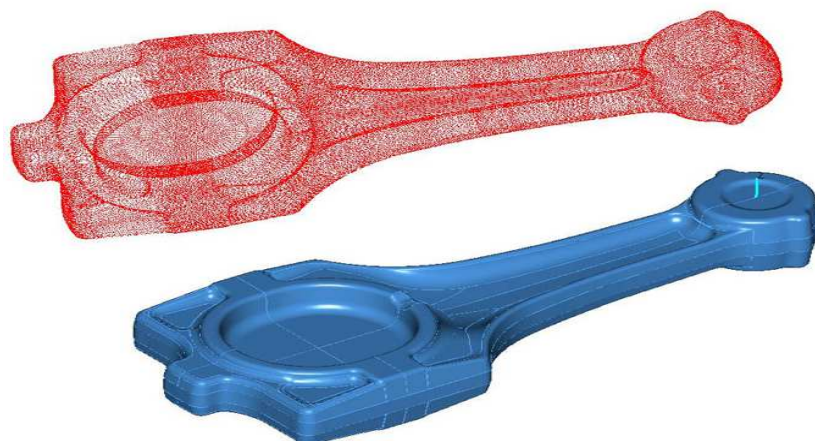


Πτυχιακή εργασία

*Ολοκληρωμένη μελέτη παραγωγής
μηχανολογικού αντικειμένου με χρήση
αντίστροφης μηχανικής (reverse
engineering)*



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

- ΕΓΚΑΡΧΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ-42647
- ΘΕΟΦΙΛΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ-41827

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

- Δρ. -Μηχ. ΣΤΕΡΓΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
- Μηχ. Σαγιάς Βασίλειος

Αθήνα 2016

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τη χρήση της αντίστροφης μηχανικής σε μηχανολογικά εξαρτήματα, καθώς και των διαδικασιών που την καθιστούν εφικτή. Ειδικότερα πραγματοποιείται μελέτη σε ένα ποντίκι υπολογιστή στο οποίο θα εφαρμοστούν τα εργαλεία της αποτύπωσης(σάρωσης) του φυσικού μοντέλου, της δημιουργίας-μορφοποίησης των γεωμετρικών επιφανειών του, όσο και της κατεργασίας του ποντικιού με μηχανολογικές κατεργασίες. Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι να γίνουν γνωστές οι μέθοδοι εκείνες που προϋποθέτουν την υλοποίηση της αντίστροφης μηχανικής και να επιλύσουμε τις δυσκολίες που θα προκύψουν.

Abstract

The present thesis deals with the study of reverse engineering in mechanical parts, as well as the procedures and processes which make it feasible. More specifically, study is done using a computer mouse upon which scanning tools of the physical model will be applied, the creation-shaping of its geometrical surfaces, as well as its treatment using engineering. The purpose of the thesis is to become familiar with those methods which presuppose the implementation of reverse engineering and to resolve the difficulties which will arise.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	8
Κεφάλαιο 2. Αντίστροφη μηχανική (reverse engineering)	10
2.1 Εισαγωγή στην αντίστροφη μηχανική	10
2.2 Λόγοι χρήσης αντίστροφης μηχανικής.....	10
3. Συστήματα CAD/CAM/CAE	13
3.1. Ορισμός των CAD, CAM, και CAE	13
3.2 Εισαγωγή στα συστήματα CAD	16
3.2.1 Εισαγωγή	16
3.2.2 Σχεδίαση σε δυο διαστάσεις.....	16
3.2.3 Μειονεκτήματα δισδιάστατης σχεδίασης	17
3.2.4 Πλεονεκτήματα τρισδιάστατης σχεδίασης	18
3.2.5 Μέθοδοι και τεχνικές μοντελοποίησης	19
3.2.5 Μεθοδολογία τρισδιάστατης μοντελοποίησης	20
3.2.6 Γεωμετρική μοντελοποίηση με τη χρήση επιφανειακών μοντέλων.....	20
3.2.7 Βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων CAM	22
4.0 Μεθοδολογία	25
5.0 Case study.....	27
5.1 Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν.....	27
5.2 Ρύθμιση του 3d scanner-θέση της κάμερας.....	27
5.3 Περιστροφή της κάμερας.....	28
5.4 Σύνδεση της κάμερας στον υπολογιστή	29
5.6 Ρύθμιση του προβολέα.....	29
5.7 Ρύθμιση του προβολέα στην οθόνη του υπολογιστή.....	30
5.8 Βαθμονόμησης κάμερας 3d scanner	31
5.8.1. Συναρμολόγηση εξοπλισμού	31
5.8.2 Ρυθμίσεις υπολογιστή για βαθμονόμηση.....	33
5.8.3 Βασικές ρυθμίσεις κάμερας και προβολέα.....	35
5.8.4 Σάρωση mouse	38
5.9 Επεξεργασία της αποτυπωμένης επιφάνειας.....	39
5.9.1 Επεξεργασία του πλέγματος (mesh)	39
5.9.2 Δημιουργία επιφάνειας	51
5.9.3 Μορφοποίηση μοντέλου.....	59

6. Κατεργασίες μορφοποίησης	92
6.1. Αφαίρεση υλικού σε δύο διαστάσεις (2D).....	92
6.2 Αφαίρεση υλικού σε 3 διαστάσεις.....	97
7. Συμπεράσματα	109
8.Προτάσεις για μελλοντική εργασία	111
9.Bibliography.....	112

ΕΙΚΟΝΑ 3-1 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ	16
ΕΙΚΟΝΑ 3-2 ΠΟΛΥΠΛΟΚΟ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ	18
ΕΙΚΟΝΑ 3-3 ΠΕΝΤΑΛ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ	19
ΕΙΚΟΝΑ 3- 4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ CNC (ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΑ)	24
ΕΙΚΟΝΑ 5.2.1 ΜΙΚΡΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΣΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡΑ-ΜΕΓΑΛΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΣΤΑ ΔΕΞΙΑ	28
ΕΙΚΟΝΑ 5.3.1 ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΙΣ 22 ΜΟΙΡΕΣ	28
ΕΙΚΟΝΑ 5.4.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑΣ	29
ΕΙΚΟΝΑ 5.6.1 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΡΟΒΟΛΕΑ	30
ΕΙΚΟΝΑ 5.8.1.1 ΠΑΝΕΛ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ	32
ΕΙΚΟΝΑ 5.8.1.2 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	33
ΕΙΚΟΝΑ 5.8.2.1 ΟΘΟΝΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΠΡΙΝ ΤΙΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ	33
ΕΙΚΟΝΑ 5.8.2.2 CALIBRATION SETTINGS	34
ΕΙΚΟΝΑ 5.8.2.3 STRUCTURED LIGHT SETTINGS	35
ΕΙΚΟΝΑ 5.8.3.1 ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΜΕΡΑΣ	36
ΕΙΚΟΝΑ 5.8.3.2 ΡΥΘΜΙΣΗ ΠΡΟΒΟΛΕΑ	36
ΕΙΚΟΝΑ 5.8.3.3 CALIBRATION BUTTON	37
ΕΙΚΟΝΑ 5.8.3.4 CALIBRATION SUCCESSFULL	37
ΕΙΚΟΝΑ 5.8.3.5 CALIBRATION MESSAGE	38
ΕΙΚΟΝΑ 5.8.4.1 SCANNED MOUSE	39
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.1 ADD-INS	40
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.2 SCAN TO 3D	40
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.3 MESH PREP WIZARD	41
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.4 PLANE	41
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.5 VISIBILITY	41
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.6 ΒΗΜΑ 1Ο	42
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.7 ΒΗΜΑ 2Ο	42
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.8 ΑΡΧΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ PLANE	43
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.9 ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ	43
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.10 ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΟ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	44
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.11 ΜΕΙΩΣΗ "ΘΟΥΡΒΟΥ"	44
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.12 LASSO SELECTION	45
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.13 ΝΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	45
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.14 ΑΠΛΟΥΣΤΕΥΣΗ-ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	46
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.15 ΛΕΙΑΝΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	47
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.16 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΛΕΙΑΝΣΗΣ	48
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.17 ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΩΝ 1	48
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.18 ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΩΝ 2	49
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.1.18 ΤΡΥΠΕΣ ΚΛΕΙΣΜΕΝΕΣ	50
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.1 ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ SURFACE WIZARD	51
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.2 ΚΑΡΤΕΛΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ	52
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.3 ΠΛΕΓΜΑ ΠΡΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	52
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.4 ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	53
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.5 ΕΠΙΛΟΓΗ PLANE	53
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.6 MODEL SPLIT	54
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.7 FACE IDENTIFICATION	54
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.8 MODEL SPLIT IN TWO	55
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.9 SURFACE EXTRACTION	56
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.10 SURFACES TO BE EXTRACTED	56
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.11 FINISHED SURFACE 1	57

ΕΙΚΟΝΑ 5.9.2.10 FINISHED SURFACE 2	58
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.1 3D SKETCH	59
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.2 3D SKETCH ΕΝΤΟΛΗ	60
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.3 ΑΝΩ ΟΨΗ	60
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ PLANE	61
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.5 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ PLANE	62
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.6 FIRST NEW PLANE	63
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.6 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΔΕΥΤΕΡΟΥ PLANE	64
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.7 PLANE 20	64
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.8 30 PLANE	65
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.9 ΕΝΤΟΛΗ SURFACE TRIM	66
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.10 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΕΝΤΟΛΗΣ SURFACE-TRIM	67
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.11 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΕΝΤΟΛΗΣ SURFACE-TRIM	67
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.12 ΚΑΡΤΕΛΑ SURFACE TRIM	68
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.13 SURFACE TRIM 2	68
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.14 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ SURFACE TRIM 2	69
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.15 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ PLANE ΠΙΣΩ ΟΨΗΣ 1	70
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.16 PLANE ΠΙΣΩ ΟΨΗΣ 1	71
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.17 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ PLANE ΠΙΣΩ ΟΨΗ	72
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.18 PLANE ΠΙΣΩ ΟΨΗΣ	72
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.19 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΟΠΗΣ ΠΙΣΩ ΟΨΗΣ	73
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.20 ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ SURFACE TRIM ΠΙΣΩ ΟΨΗΣ	73
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.21 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΟΠΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ TOP PLANE	74
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.22 PLANE ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΟΠΗ	74
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.22 ΚΟΠΗ ΠΟΔΙΩΝ	75
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.23 3D SKETCH BOTTOM VIEW	75
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.24 3D SKETCH BOTTOM VIEW WITH ANGLE	76
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.25 SURFACE FILL ORDER	76
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.26 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ SURFACE FILL	77
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.27 ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ SURFACE FILL	77
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.28 3D SKETCH FRONT SIDE	78
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.29 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ SURFACE FILL ΜΠΡΟΣΤΙΝΗΣ ΠΛΕΥΡΑΣ	79
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.30 ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ SURFACE FILL ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ	80
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.31 3D SKETCH ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ	80
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.32 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ SURFACE FILL ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗΣ 1	81
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.33 ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ SURFACE FILL ΠΛΑΓΙΑΣ ΟΨΗΣ 1	81
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.34 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΟΥ PLANE	83
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.35 PLANE ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ	84
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.36 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ PLANE ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ	84
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.37 SURFACE TRIM MODEL	85
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.38 ΡΥΘΜΙΣΗ 1	86
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.39 ΡΥΘΜΙΣΗ 2	86
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.40 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΟΠΗΣ	87
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.41 3D SKETCH FOR LAST SURFACE FILL	87
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.42 LAST SURFACE FILL	88
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.43 ISOMETRIC VIEW	88
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.44 KNIT SURFACE	89
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.45 KNIT SURFACE SETTINGS	89
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.46 FILLET COMMAND	90

ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.47 FILLET ADJUSTMENTS	90
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.48 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΚΜΩΝ ΠΡΟΣ FILLET	91
ΕΙΚΟΝΑ 5.9.3.49 ISOMETRIC VIEW OF FINISHED MODEL	91
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.1 CAM RIBBON	92
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.2 STOCK MODEL	93
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.3 STOCK DIMENSIONS	94
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.4 ΚΟΠΤΙΚΟ	94
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.5 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΟΠΗΣ ΡΥΘΜΙΣΗ	94
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.6 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΟΠΗΣ	95
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.7 ΎΨΗ ΚΟΠΗΣ	95
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.8 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΟΧΩΝ	96
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.9 FACE COMPLETE	96
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΠΤΙΚΟΥ	97
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.2 ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	97
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.3 ΎΨΗ ΚΟΠΗΣ	98
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.4 ΒΟΤΤΟΜ HEIGHT	98
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.5 ΑΝΟΧΕΣ ΚΑΙ ΠΑΣΑ	98
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.6 ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗ ΚΟΠΗ	99
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.7 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ	100
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.8 ΎΨΗ SCALLOP	100
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.9 ΑΝΟΧΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	101
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.10 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΟΠΤΙΚΟΥ	102
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.11 MODEL ORIENTATION SIDE	103
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.12 GEOMETRY TAB SCALLOP	104
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.13 SCALLOP MODEL GEOMETRY	104
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.14 ΎΨΗ ΚΟΠΗΣ 1	105
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.15 ΎΨΗ ΚΟΠΗΣ 2	105
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.16 ΑΝΟΧΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	106
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.17 ΠΟΡΕΙΑ ΚΟΠΤΙΚΟΥ ΠΛΑΓΙΑ	106
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.18 SCALLOP ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΟΨΗ	107
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.19 SCALLOP ΠΙΣΩ ΎΨΗ	107
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.20 SCALLOP ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ 2	108

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Δίνοντας τη φύση της σημερινής κοινωνίας παρακολουθούμε σημαντική ανάπτυξη στον τομέα της τεχνολογίας. Κύρια κεφάλαια αυτής της ανάπτυξης και κατακτώντας ταυτόχρονα βασικό ρόλο στις σύγχρονες επιχειρήσεις-εταιρίες είναι η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Στην περίπτωση των διαφόρων εταιριών κρίνεται απαραίτητη η λειτουργία ενός εκ των πολυποίκιλων εργαλείων του ηλεκτρονικού υπολογιστή που δεν μπορεί να είναι άλλος από τον σχεδιασμό προϊόντων και διαδικασιών που εξυπηρετούν το προσδιορισμό και την κατανόηση πληροφοριών του ανθρώπου.

Ο βιομηχανικός σχεδιασμός συμβάλλει στην δημιουργία και εξέλιξη ιδεών για την υλοποίηση προϊόντων μαζικής κατανάλωσης, δίνοντας υψηλή αισθητική και εξοικονομώντας πολύτιμο χρόνο από το αρχικό στάδιο της ιδέας έως το τελικό στάδιο της υλοποίησης. Με αυτόν τον σαφή τρόπο, δημιουργείται το πλεονέκτημα του ανταγωνισμού έναντι πανομοιότυπων προϊόντων.

Μία πρωτοπόρα διαδικασία και εφαρμογή σχεδιασμού ενός προϊόντος είναι και η μέθοδος της αντίστροφης μηχανικής η οποία αποσπά πληροφορίες από αντικείμενα κατασκευασμένα από το ανθρώπινο χέρι και τα επαναδημιουργεί με βάση τις εκάστοτε απαιτήσεις .

Η υλοποίηση της αντίστροφης μηχανικής επιτυγχάνεται με την βοήθεια διάφορων προγραμμάτων μοντελοποίησης, προσομοίωσης και κατεργασίας . Αναφορικά, τα λογισμικά αυτά είναι τα:

- CAD (computer-aided design)
- CAE (computer-aided engineering)
- CAM (computer-aided manufacturing)

Τα συστήματα CAD περιλαμβάνουν τη μοντελοποίηση σε δύο και τρεις διαστάσεις δίνοντας μας τη δυνατότητα να προσθέσουμε ή να αφαιρέσουμε χαρακτηριστικά μιας κατασκευής. Τα συστήματα CAE προσομοιώνουν την κατασκευή σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας και περιβάλλοντος εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη σωστή λειτουργία της, ενώ τα CAM συστήματα ολοκληρώνουν τον

κύκλο της αντίστροφης μηχανικής (reverse engineering), καθώς καταργάζονται και ολοκληρώνουν την γεωμετρία του εκάστοτε μοντέλου με την βοήθεια των μηχανών CNC (computer-numeric control)

Κεφάλαιο 2. Αντίστροφη μηχανική (reverse engineering)

2.1 Εισαγωγή στην αντίστροφη μηχανική

«Η Αντίστροφη μηχανική, είναι η διαδικασία εξαγωγής γνώσης ή σχεδιαστικής πληροφορίας από οτιδήποτε κατασκευασμένο από τον άνθρωπο και επαναδημιουργίας του βασισμένο σε αυτή την πληροφορία. Η διαδικασία συνήθως περιλαμβάνει την αποσυναρμολόγηση ενός μηχανολογικού αντικειμένου ή ενός ηλεκτρονικού εξαρτήματος, καθώς και την ανάλυση των περαιτέρω εξαρτημάτων με λεπτομέρεια.

Οι λόγοι και οι στόχοι για την απόκτηση τέτοια πληροφορίας ποικίλουν, από καθημερινή χρήση ή κοινωνικά βοηθητικές ενέργειες, μέχρι και εγκληματικές ενέργειες ανάλογα με την κατάσταση. Συνήθως δεν παραβιάζονται πνευματικά δικαιώματα, όπως όταν ένας άνθρωπος ή μία επιχείρηση δεν μπορούν να βρουν πως επιτεύχθηκε κάτι, ή τι ακριβώς κάνει κάτι, και χρειάζεται να εφαρμόσουν αντίστροφη μηχανική για να το βρουν μόνοι τους. Η αντίστροφη μηχανική είναι πολύ χρήσιμη στην αποτροπή εγκλημάτων, καθώς ύποπτο “κακόβουλο λογισμικό” αντιστρέφεται με σκοπό την κατανόηση της λειτουργίας του, πώς να το ανιχνεύουν και να το απομακρύνουν. Σε αντίθεση η αντίστροφη μηχανική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να “σπάνε” λογισμικά για να αφαιρούν την προστασία αντιγραφής, ή να δημιουργούν πιθανών βελτιωμένα αντίγραφα.

Η αντίστροφη μηχανική έχει τις ρίζες της στην ανάλυση εξαρτημάτων για δημόσια ή στρατιωτικά πλεονεκτήματα. Ωστόσο η διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής στη βάση της δεν ενδιαφέρεται για την αντιγραφή η αλλαγή ενός αντικειμένου, είναι απλά μία ανάλυση που έχει ως μοναδικό σκοπό να συμπεράνει σχεδιαστικά στοιχεία από προϊόντα με λίγη ή καθόλου επιπλέον πληροφορία για τις διαδικασίες που πήραν μέρος στο αρχική παραγωγή. Σε μερικές περιπτώσεις, ο στόχος της μεθόδου της αντίστροφης μηχανικής είναι η εύρεση ελλείψεων. Ακόμα και όταν το προϊόν που έχει υποστεί αντίστροφη μηχανική είναι ενός ανταγωνιστή, ο σκοπός μπορεί να μην είναι η αντιγραφή του, αλλά η ανάλυση του ανταγωνιστή.

2.2 Λόγοι χρήσης αντίστροφης μηχανικής

Οι βασικοί λόγοι που χρησιμοποιείται η αντίστροφη μηχανική είναι οι εξής:

- **Διασύνδεση.** Η αντίστροφη μηχανική μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν ένα σύστημα απαιτείται να διασυνδέεται με ένα άλλο σύστημα και τα δυο συστήματα θα πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους. Αυτές οι απαιτήσεις υπάρχουν συνήθως για τη διαλειτουργικότητα.

- **Στρατιωτική ή δημόσια κατασκοπία.** Γνώση για τις τελευταίες έρευνες του εχθρού ή του ανταγωνιστή μέσω απόκτησης ενός πρωτοκόλλου του και “λύνοντας το” το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία ενός παρόμοιου προϊόντος, ή ακόμα καλύτερα αντίμετρα για αυτό.
- **Εύρεση ελλείψεων.** Η αντίστροφη μηχανική μπορεί να γίνει όταν η καταγραφή ενός συστήματος για το σχέδιο, την παραγωγή, τη λειτουργία ή συντήρηση έχουν ελλείψεις και οι αρχικοί σχεδιαστές δεν είναι διαθέσιμοι για να το βελτιώσουν . Η αντίστροφη μηχανική λογισμικού μπορεί να παρέχει τις τελευταίες απαραίτητες καταγραφές με απότοκο την κατανόηση της πιο πρόσφατης κατάστασης ενός συστήματος λογισμικού.
- **Αχρησία.** Ολοκληρωμένα κυκλώματα συνήθως φαίνεται να έχουν σχεδιαστεί πάνω σε απαρχαιωμένα συστήματα, που σημαίνει πως όταν αυτά τα συστήματα δεν μπορούν πλέον να συντηρηθούν , λόγω έλλειψης ανταλλακτικών ή είναι αναποτελεσματικά, ο μόνος τρόπος για να ενσωματωθεί η χρησιμότητά τους στις νέες τεχνολογίες, είναι να αντιστρέψεις την μηχανική των ήδη υπάρχοντων κυκλωμάτων και να τα ξανασχεδιάσεις χρησιμοποιώντας καλύτερα εργαλεία, βασισμένος στις πληροφορίες που σου παρέχει το ήδη υπάρχον κύκλωμα, ως οδηγό. Άλλο ένα πρόβλημα το οποίο προέρχεται από την αχρησία και μπορεί να λυθεί με την αντίστροφη μηχανική είναι η ανάγκη για υποστήριξη (συντήρηση και παροχή για συνεχή λειτουργία) συσκευών που δεν παρέχονται πλέον από τον OEM¹. Το πρόβλημα έγκειται σε στρατιωτικές επιχειρήσεις.
- **Εκμοντερνισμός λογισμικού.** Συνήθως η γνώση χάνεται με τον καιρό, το οποίο αποτρέπει αναβαθμίσεις και βελτιώσεις .Η αντίστροφη μηχανική είναι γενικά απαραίτητη προκειμένου να κατανοήσουμε το «όπως είναι» κατάσταση των υπάρχων ή μελλοντικών λογισμικών , προκειμένου να εκτιμηθεί σωστά η προσπάθεια που απαιτείται για να μεταφέρουν τη γνώση σε μια «ως έχει» κατάσταση.
- **Ανάλυση της ασφάλειας ενός προϊόντος .** Για να εξετάσουμε το πώς λειτουργεί ένα προϊόν, ποια είναι τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων , να γίνει εκτίμηση του κόστους και να εντοπιστούν τυχόν παραβιάσεις των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. Η απόκτηση ευαίσθητων δεδομένων από την αποσυναρμολόγηση και την ανάλυση του σχεδιασμού ενός στοιχείου του συστήματος. Μια άλλη πρόθεση μπορεί να

¹ Original equipment manufacturer (Αρχικός κατασκευαστής)

είναι να καταργηθεί η προστασία αντιγραφής και η καταστράγγιση των περιορισμών πρόσβασης.» (LCCN, n.d.)

3. Συστήματα CAD/CAM/CAE

3.1. Ορισμός των CAD, CAM, και CAE

« Η σχεδίαση με την βοήθεια υπολογιστή (*computer-aided design* – CAD) είναι η τεχνολογία που αφορά τη χρήση συστημάτων υπολογιστών για την υποβοήθηση της δημιουργίας της τροποποίησης, και της βελτιστοποίησης της σχεδίασης [Groover και Zimmers 1984]. Επομένως οποιοδήποτε πρόγραμμα υπολογιστή το οποίο ενσωματώνει γραφικά σχεδίασης και ένα πρόγραμμα εφαρμογής που διευκολύνει τις τεχνικές λειτουργίες στη διαδικασία σχεδίασης ταξινομείται ως λογισμικό CAD. Με άλλα λόγια, τα εργαλεία CAD μπορεί να ποικίλουν από γεωμετρικά εργαλεία χειρισμού σχημάτων στο ένα άκρο, μέχρι προσαρμοσμένα προγράμματα εφαρμογών, όπως αυτά της ανάλυσης και της βελτιστοποίησης, στο άλλο άκρο [Zeid 1991]. Μεταξύ αυτών των δύο άκρων, στα τυπικά εργαλεία που είναι διαθέσιμα σήμερα, περιλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, εργαλεία ανάλυσης αντοχών (*tolerance analysis*), υπολογισμών ιδιοτήτων μάζας (*mass property calculations*), και μοντελοποίησης πεπερασμένων στοιχείων και οπτικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Ο βασικότερος ρόλος ενός εργαλείου CAD είναι ο ορισμός της γεωμετρίας ενός σχεδίου -μηχανικού εξαρτήματος, αρχιτεκτονικής κατασκευής, ηλεκτρονικού κυκλώματος, διάταξης κτιρίου - επειδή η γεωμετρία του σχεδίου είναι ουσιώδης για όλες τις μετέπειτα δραστηριότητες στον κύκλο του προϊόντος. Για το σκοπό αυτόν, χρησιμοποιούνται τυπικά η παραγωγή σχεδίων με τη βοήθεια υπολογιστή (*computer-aided drafting*) και η γεωμετρική μοντελοποίηση. Αυτός είναι ο λόγος που τα συστήματα αυτά θεωρούνται λογισμικό CAD. Εκτός από αυτό, η γεωμετρία που παράγουν τα συστήματα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την εκτέλεση άλλων λειτουργιών CAE και CAM. Αυτό είναι από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του CAD επειδή μπορεί να επιφέρει μεγάλη οικονομία χρόνου και να μειώσει τα σφάλματα που προκαλούνται από την ανάγκη επανορισμού της γεωμετρίας από την αρχή κάθε φορά που χρειάζεται. Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι τα συστήματα παραγωγής σχεδίων με την βοήθεια υπολογιστή και τα συστήματα γεωμετρικής μοντελοποίησης είναι τα πιο σημαντικά συστατικά του CAD.

Η (*βιομηχανική*) παραγωγή με την βοήθεια υπολογιστή (*computer-aided manufacturing-CAM*) είναι η τεχνολογία που αφορά τη χρήση συστημάτων υπολογιστών για τον προγραμματισμό, τη διαχείριση, και τον έλεγχο των λειτουργιών της παραγωγής μέσω άμεσης ή έμμεσης διασύνδεσης του υπολογιστή με τους πόρους παραγωγής του εργοστασίου. Ένας από τους πιο ώριμους τομείς του CAM είναι ο αριθμητικός έλεγχος (*numerical control*), γνωστός με τα αρχικά NC. Πρόκειται για την

τεχνική χρήσης εντολών προγράμματος για τον έλεγχο μιας εργαλειομηχανής η οποία τροχίζει, κόβει, φρεζάρει, τρυπάει, κάμπτει, ή μετατρέπει ακατέργαστα υλικά σε ένα ολοκληρωμένο εξάρτημα. Ο υπολογιστής μπορεί πλέον να παράγει μια σημαντική ποσότητα εντολών NC, με βάση τα γεωμετρικά δεδομένα της βάσης δεδομένων του CAD και τις πρόσθετες πληροφορίες που του παρέχει ο χειριστής. Γίνονται ερευνητικές προσπάθειες που εστιάζονται στην ελαχιστοποίηση της αλληλεπίδρασης με το χειριστή.

Μία άλλη σημαντική λειτουργία του CAM είναι ο προγραμματισμός ρομπότ, τα οποία μπορεί να λειτουργούν σε μια διάταξη κυψελών εργασίας (work cell), επιλέγοντας και τοποθετώντας στις κατάλληλες θέσεις εργαλεία και προς κατεργασία κομμάτια για μηχανές NC. Τα ρομπότ αυτά μπορεί να εκτελούν μεμονωμένες εργασίες όπως η συγκόλληση, η συναρμολόγηση, η μεταφορά εξοπλισμού ή εξαρτημάτων στο χώρο του εργοστασίου.

Ο προγραμματισμός των διεργασιών είναι ένας ακόμη στόχος της αυτοματοποίησης μέσω υπολογιστή στο πρόγραμμα διεργασιών (process plan) που μπορεί να προσδιορίζει την αναλυτική ακολουθία των βημάτων της παραγωγής που απαιτούνται για τη συναρμολόγηση ενός εξαρτήματος από την αρχή μέχρι το τέλος καθώς αυτό μετακινείται από σταθμό εργασίας σε σταθμό εργασίας στο χώρο του εργοστασίου. Παρόλο που ο πλήρως αυτόματος προγραμματισμός διεργασιών είναι αδύνατος, όπως είπαμε και προηγουμένως, μπορεί να παραχθεί ένα πρόγραμμα διεργασιών για ένα εξάρτημα αν υπάρχουν ήδη προγράμματα διεργασιών για παρόμοια εξαρτήματα. Για το σκοπό αυτόν, έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία ομάδων (group technology) για την οργάνωση παρόμοιων εξαρτημάτων σε μια οικογένεια. Τα εξαρτήματα ταξινομούνται ως παρόμοια αν έχουν κοινά χαρακτηριστικά παραγωγής όπως σχισμές, κοιλώματα, λοξότμησης, οπές, κ.λπ. Επομένως για τον αυτόματο εντοπισμό της ομοιότητας μεταξύ των εξαρτημάτων, η βάση δεδομένων του CAD πρέπει να περιέχει πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά αυτά. Αυτή η εργασία γίνεται με τη χρήση μοντελοποίησης με βάση τα γνωρίσματα (feature-based modeling) ή αναγνώρισης γνωρισμάτων (feature recognition).

Επίσης, ο υπολογιστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του χρόνου παραγγελίας πρώτων υλών και αγοράς εξαρτημάτων, καθώς και της ποσότητας που πρέπει να παραγγελθεί για να τηρηθεί το χρονοδιάγραμμα της παραγωγής. Η δραστηριότητα αυτή ονομάζεται *προγραμματισμός απαιτήσεων σε υλικά* (material requirements planning - MRP). Μία άλλη πιθανή χρήση του υπολογιστή είναι η

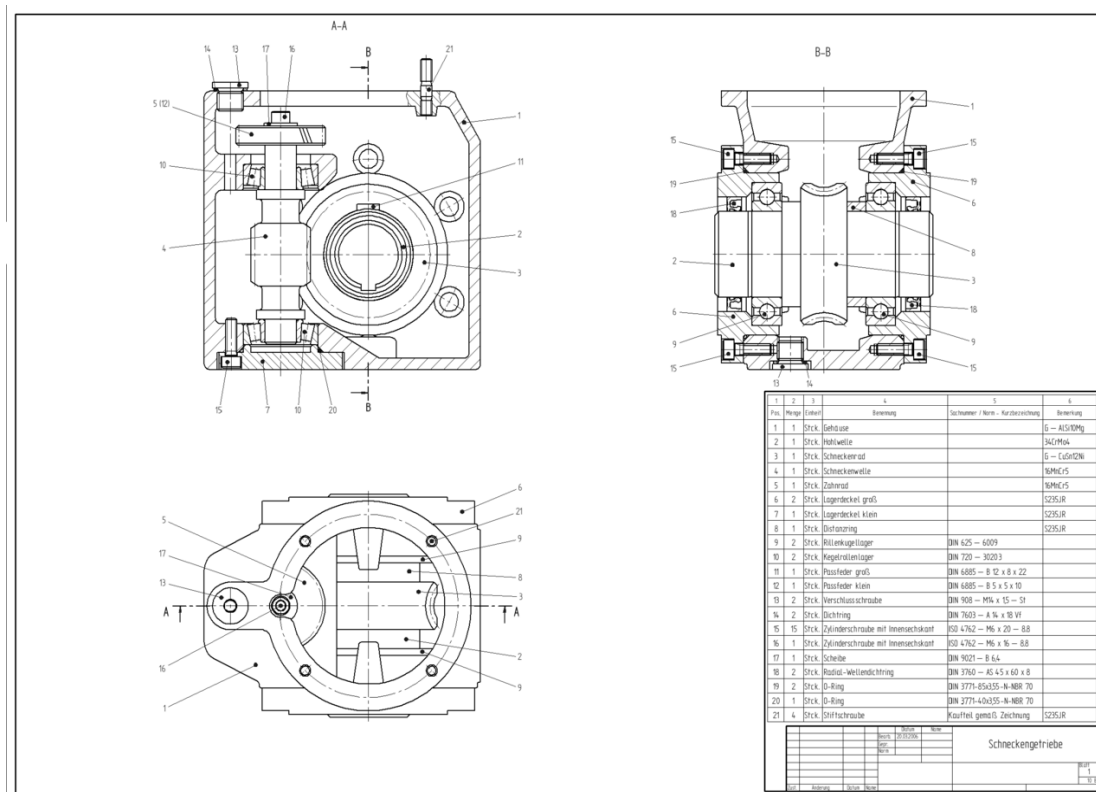
παρακολούθηση της κατάστασης των μηχανών στο χώρο του εργοστασίου και η αποστολή καταλλήλων εντολών σε αυτές.

Η *τεχνική μελέτη με τη βοήθεια υπολογιστή* (computer-aided engineering-CAE) είναι μια τεχνολογία που αφορά τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων για την ανάλυση της γεωμετρίας του CAD, δίνοντας στο σχεδιαστή τη δυνατότητα να προσομοιώσει και να μελετήσει τη συμπεριφορά του προϊόντος με στόχο την βελτιστοποίηση του μοντέλου. Τα εργαλεία CAE είναι διαθέσιμα για μια μεγάλη ποικιλία τύπων ανάλυσης. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προγράμματα κινηματικής για να προσδιοριστούν τροχιές κινήσεων και ταχύτητες συνδέσμων σε μηχανισμούς. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν προγράμματα δυναμικής ανάλυσης μεγάλων μετατοπίσεων για να προσδιοριστούν φορτία και μετατοπίσεις σε πολύπλοκους μηχανισμούς όπως τα αυτοκίνητα. Το λογισμικό λογικού χρονισμού επαλήθευσης (logic-timing and verification) προσημειώνει τη λειτουργία πολύπλοκων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.» (Lee, 1999)

3.2 Εισαγωγή στα συστήματα CAD

3.2.1 Εισαγωγή

Τα προγράμματα CAD είναι σχεδιαστικά προγράμματα τα οποία έχουν κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να δέχονται μία σειρά από εντολές από το χειριστή τους και να αναπαριστούν στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή τα αποτελέσματα της εντολής αυτής. Οι εντολές ποικίλουν και περιλαμβάνουν γραμμές(ευθύγραμμα τμήματα), κύκλους, σημειακά σημεία, ελλείψεις και λοιπές καμπύλες με σκοπό την απεικόνιση ενός τελικού αντικειμένου(μηχανολογικού, αρχιτεκτονικού κ.τ.λ.) το οποίο θα βοηθήσει στην τελική δημιουργία του.



Εικόνα 3-1 Μηχανολογικό σχέδιο

3.2.2 Σχεδίαση σε δυο διαστάσεις

Το δισδιάστατο σχέδιο ήταν η πρώτη μορφή σχεδίασης που εμφανίστηκε και είναι και η πιο διαδεδομένη. Εξελίχθηκε ανά τα χρόνια και μεταφέρθηκε στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, πλέον τη πιο βασική μορφή σχεδίασης σε όλες τις ειδικότητες των μηχανικών.

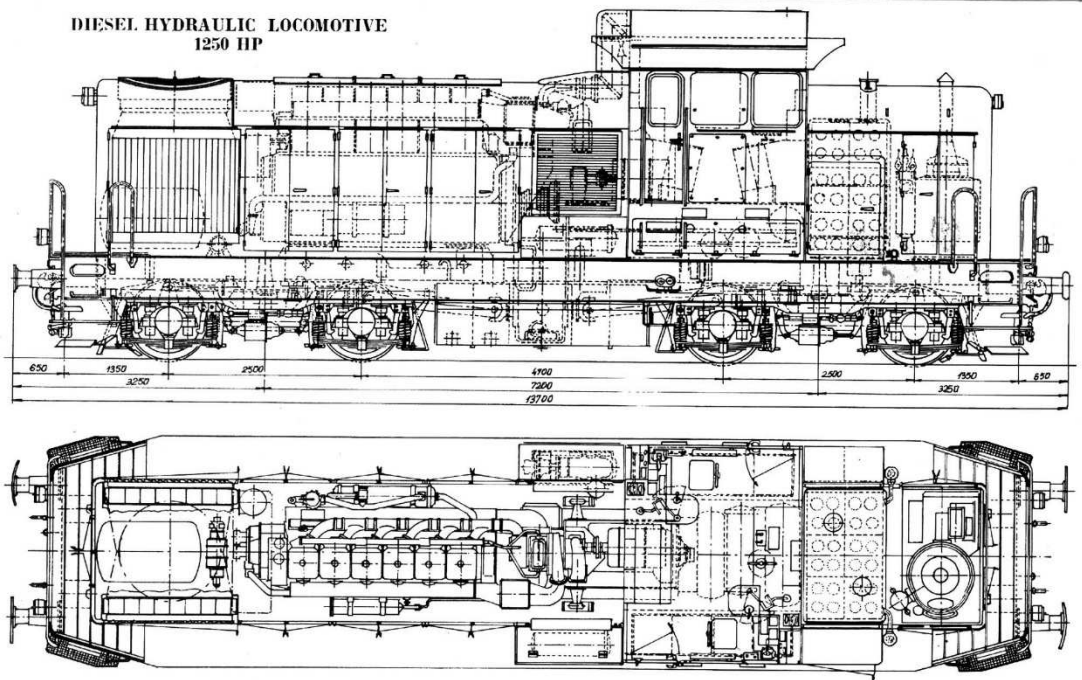
Επιπλέον υπάρχουν εφαρμογές, στις οποίες η τρίτη διάσταση δεν έχει ιδιαίτερη σημασία, εφόσον η τρισδιάστατη απεικόνιση δεν προσθέτει καμία χρήσιμη πληροφορία. Για παράδειγμα μια πινακίδα κυκλοφορίας που έχει σχεδιασμένο ένα αυτοκίνητο, προειδοποιώντας για την ολισθηρότητα του δρόμου έχει ως σκοπό την προειδοποίηση των οδηγών για το συγκεκριμένο κίνδυνο. Η πληροφορία δεν εξαρτάται καθόλου από το αν το σχέδιο του αυτοκινήτου τρισδιάστατο ή δισδιάστατο. Κατά συνέπεια δεν υπάρχει λόγος παραγωγής ενός προοπτικού σχεδίου, στο οποίο θα αποδίδονται λεπτομέρειες, που θα εξυπηρετούν αισθητικού λόγους. Εξάλλου οι πρόσθετες αυτές πληροφορίες μπορεί να αποσπάσουν την προσοχή του οδηγού ή να τον εμποδίσουν να αντιληφθεί γρήγορα το μήνυμα της σήμανσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, λοιπόν, η χρήση τεχνικών τρισδιάστατης μοντελοποίησης μπορεί να επιβραδύνει τις διαδικασίες μετάδοσης της πληροφορίας.» (Πετούσης, 2003)

3.2.3 Μειονεκτήματα δισδιάστατης σχεδίασης

Η σχεδίαση σε 2 διαστάσεις έχει σημαντικούς περιορισμούς, οι οποίοι επιβάλλουν σε αρκετές περιπτώσεις τη χρήση τρισδιάστατων γεωμετρικών μοντέλων. Τα βασικότερα μειονεκτήματα της σχεδίασης σε δύο διαστάσεις είναι:

- Αδυναμία κατανόησης του προϊόντος, οπότε δημιουργείται η ανάγκη κατασκευής περισσότερων φυσικών πρωτοτύπων, τα οποία έχουν μεγάλο κόστος και απαιτούν χρόνο με αποτέλεσμα τη μη ελεγχόμενη ή καθυστερημένη είσοδο του προϊόντος στην αγορά. Εικόνα 3-2
- Υπάρχει ανάγκη για σχεδιασμό πολλών όψεων. Μία αλλαγή στο σχέδιο απαιτεί την τροποποίηση όλων των όψεων.
- Δεν υπάρχει δυνατότητα εξαγωγής του σχεδίου σε σύστημα FEA² ή CAM, για το σχεδιασμό των χαρακτηριστικών του προϊόντος. Εξάιρεση αποτελούν μόνο ειδικές περιπτώσεις κοπής λαμαρίνας, όπου ο σχεδιασμός αφορά τον προσδιορισμό της θέσης των επιμέρους κομματιών πάνω στο φύλλο λαμαρίνας, οπότε γίνεται σε δύο διαστάσεις.

² Finite element analysis (Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων)

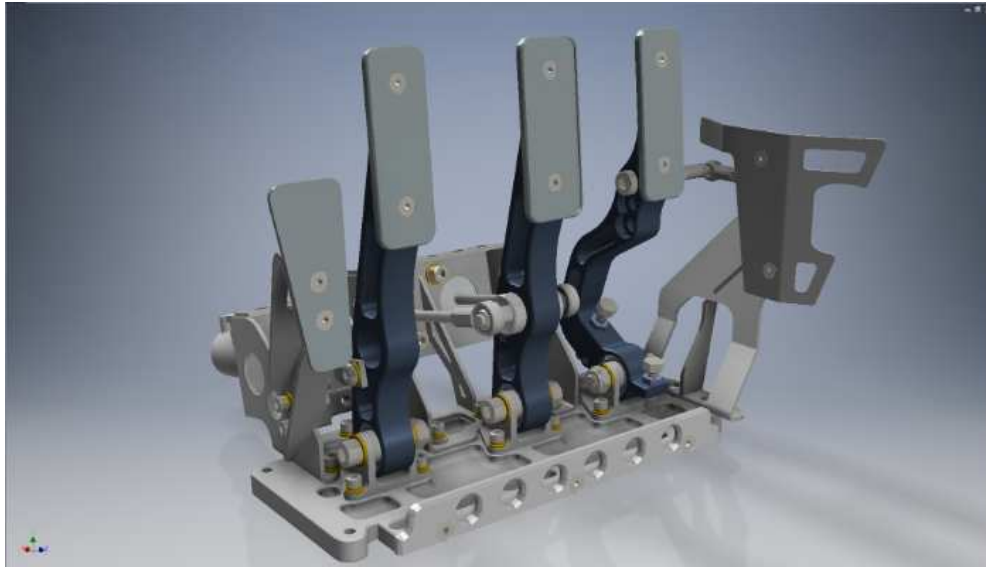


Εικόνα 3-2 Πολύπλοκο μηχανολογικό σχέδιο

3.2.4 Πλεονεκτήματα τρισδιάστατης σχεδίασης

«Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της σχεδίασης σε τρεις διαστάσεις είναι :

- Καλύτερη αξιολόγηση του προϊόντος, οπότε απαιτούνται λιγότερα πρωτότυπα για την ανάπτυξή του.
- Περισσότερη πληροφόρηση για τα χαρακτηριστικά του προϊόντος κατά τη φάση της σχεδίασης.
- Καλύτερη οπτικοποίηση του προϊόντος , οπότε περιορισμός σχεδιαστικών λαθών, καλύτερη ποιότητα προϊόντος και μείωση χρόνου εισαγωγής του προϊόντος στην αγορά.
- Καλύτερη ανταπόκριση του προϊόντος στις ανάγκες της αγοράς.
- Ο σχεδιασμός γίνεται πιο γρήγορα, δεν απαιτούνται πολλές όψεις.
- Οι αλλαγές γίνονται πιο γρήγορα, αφού δεν απαιτείται η αλλαγή κάθε όψης χωριστά.
- Σύνδεση του γεωμετρικού μοντέλου σε FEA και CAM , για τον προσδιορισμό τεχνικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών και της μεθοδολογίας για την παραγωγή του» (Πετούσης, 2003)



Εικόνα 3-3 Πεντάλ αγωνιστικού αυτοκινήτου

3.2.5 Μέθοδοι και τεχνικές μοντελοποίησης

«Η δημιουργία γεωμετρικών μοντέλων σε ένα σύστημα CAD είναι μια διαδικασία η οποία συναντάται με δυο διαφορετικές μορφές:

→ Ο σχεδιαστής προσπαθεί να μεταφράσει τις σκέψεις του σε σχήματα και να μεταφέρει τα σχήματα αυτά στο σύστημα CAD.

→ Ο σχεδιαστής προσπαθεί να προσδιορίσει και να διαστασιολογήσει ένα υπάρχον αντικείμενο, για να το μεταφέρει στο σύστημα CAD.

Στις δυο αυτές περιπτώσεις η διαδικασία που πρέπει να κάνει ο χρήστης του συστήματος CAD είναι να αναλύσει το γεωμετρικό μοντέλο που θέλει να παράγει στα επιμέρους σχήματα, από τα οποία αποτελείται, σύμφωνα με τις δυνατότητες του συστήματος CAD που χρησιμοποιεί. Ο χρήστης γνωρίζει ότι το σύστημα CAD έχει την δυνατότητα να παράγει σχήματα μέσω κάποιας συγκεκριμένης διαδικασίας (απλά σχήματα, όπως κύλινδροι, παραλληλεπίπεδα, ή πιο σύνθετα σχήματα). Πρέπει λοιπόν να προσπαθήσει να αναλύσει το σχήμα που θέλει να παράγει σε σχήματα που είναι εφικτό να δημιουργηθούν από το σύστημα που χρησιμοποιεί.

3.2.5 Μεθοδολογία τρισδιάστατης μοντελοποίησης

Τα συστήματα CAD παρέχουν εργαλεία για το σχεδιασμό και την επεξεργασία σχημάτων στο επίπεδο ή στο χώρο. Για την παραγωγή ενός δισδιάστατου αλλά πολύ περισσότερο ενός τρισδιάστατου σχεδίου, ο χρήστης πρέπει να αναλύσει το σχήμα στα επιμέρους τμήματα που αποτελείται και μπορεί να μοντελοποιήσει με τα εργαλεία του συστήματος CAD που χρησιμοποιεί. Ελάχιστα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου μπορούν να σχεδιαστούν ως μια οντότητα (με χρήση μιας μόνο εντολής σχεδιασμού) στο σύστημα CAD. Ο χρήστης πρέπει να αναλύσει το σχήμα που βλέπει σε επιμέρους σχήματα, τα οποία μπορεί να μοντελοποιήσει, συνθέτοντας νοητικός το αντικείμενο που θέλει να μοντελοποιήσει με τα εργαλεία που παρέχονται από το σύστημα CAD. Όταν ολοκληρωθεί αυτή η νοητική διαδικασία ο χρήστης αρχίζει να χτίζει στο σύστημα CAD τα επιμέρους τμήματα, τα οποία θα αποτελέσουν το κομμάτι που επιθυμεί να μοντελοποιήσει.

Για την παραγωγή σχημάτων στο χώρο κάθε λογισμικό CAD ακολουθεί διαφορετική φιλοσοφία σχεδιασμού. Όλα τα λογισμικά χρησιμοποιούν κοινές ομάδες εντολών. Διαφέρει όμως ο τρόπος χρήσης των εντολών για την παραγωγή των σχημάτων. Για παράδειγμα τα περισσότερα σχήματα στο χώρο σχηματίζονται με σάρωση ενός επιπέδου σχήματος κατά μήκος οδηγών καμπυλών, που ορίζει ο χρήστης. Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να επεξεργάζεται τα παραγόμενα σχήματα, για να ολοκληρώσει τη διαμόρφωση του τελικού σχήματος. Ενδεικτικά το AutoCAD παράγει γεωμετρικά μοντέλα ορίζοντας σημεία και διευθύνσεις ως προς το σύστημα συντεταγμένων χρήστη (User Coordinate System – UCS), ενώ στο Solid works η θέση και ο προσανατολισμός ενός σχήματος στο χώρο γίνεται ως προς επίπεδα και άξονες αναφοράς, που ορίζει ο χρήστης.

3.2.6 Γεωμετρική μοντελοποίηση με τη χρήση επιφανειακών μοντέλων

Η χρήση επιφανειακής γεωμετρικής μοντελοποίησης αποτελεί μια εναλλακτική μορφή τρισδιάστατης μοντελοποίησης, η οποία έχει χαρακτηριστικά, τα οποία τη διαφοροποιούν σημαντικά από τη στερεά μοντελοποίηση.

Τα επιφανειακά γεωμετρικά μοντέλα είναι μοντέλα, τα οποία δεν έχουν για το λογισμικό CAD μάζα. Στην ουσία ένας φλοιός στο χώρο, ο οποίος απεικονίζει την παράπλευρη επιφάνεια του αντικειμένου που σχεδιάζεται. Έτσι για το σχεδιασμό ενός κύβου απαιτείται

η μοντελοποίηση των έξι εδρών του, το οποίο είναι ιδιαίτερα επίμονο συγκριτικά με τη χρήση στερεάς μοντελοποίησης.

Η χρήση επιφανειακών γεωμετρικών μοντέλων έχει ως ρόλο τη δημιουργία σχημάτων, τα οποία δεν είναι εφικτό να παραχθούν με τεχνικές στερεάς μοντελοποίησης. Για παράδειγμα στο AutoCAD δεν είναι εφικτό να σχεδιαστεί με χρήση στερεάς μοντελοποίησης ένα αντικείμενο, το οποίο να έχει στο ένα άκρο διατομή κάποιου σχήματος (π.χ. κύκλος) η οποία προοδευτικά αλλάζει και στο άλλο άκρο καταλήγει σε διαφορετική διατομή (π.χ. έλλειψη). Με άλλα σχεδιαστικά εργαλεία αυτή η δυνατότητα υπάρχει, αναφέρεται όμως στο συγκεκριμένο παράδειγμα, για να γίνει κατανοητή η συγκεκριμένη διαφορά των δύο μορφών τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Έτσι σε ένα γεωμετρικό μοντέλο μπορεί κάποια τμήματα να παραχθούν με χρήση στερεάς γεωμετρικής μοντελοποίησης και άλλα να παραχθούν με χρήση επιφανειακής γεωμετρικής μοντελοποίησης. Τα επιφανειακά γεωμετρικά μοντέλα εφάπτονται με τα στερεά γεωμετρικά μοντέλα ή μεταξύ τους, ώστε να μην υπάρχουν κενά στην απεικόνιση του αντικειμένου που μοντελοποιείται.

Στα επιφανειακά γεωμετρικά μοντέλα δεν υπάρχει η δυνατότητα πράξεων Boole (ένωση, τομή, αφαίρεση), το οποίο περιορίζει τις δυνατότητες μοντελοποίησης σε σχέση με τέτοια χαρακτηριστικά.

Τα επιφανειακά γεωμετρικά μοντέλα έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να οριστούν με μαθηματικό τρόπο από το λογισμικό, αφού κάθε επιφάνεια στο χώρο μπορεί να οριστεί από μια σειρά εξισώσεων. Για το λόγο αυτό στα συστήματα CAM χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά επιφανειακή μοντελοποίηση. Στα συστήματα CAM πρέπει να προσδιοριστεί η επιθυμητή διαμόρφωση που θα κατασκευαστεί από το κοπτικό εργαλείο, οπότε η διαδικασία επικεντρώνεται στον προσδιορισμό της παράπλευρης επιφάνειας του αντικειμένου. Η παράπλευρη επιφάνεια του αντικειμένου ορίζεται με μαθηματικό τρόπο και σύμφωνα με τις εξισώσεις ορισμού της σχεδιάζεται η τροχιά που πρέπει να ακολουθήσει το κοπτικό εργαλείο, για να κατασκευάσει καθεμία από τις διαμορφώσεις του παραγόμενου αντικειμένου.

Πολλά συστήματα CAM μετατρέπουν με κάποια μέθοδο τα στερεά γεωμετρικά σε επιφανειακά, ώστε να είναι εφικτός ο προσδιορισμός της γεωμετρίας του κομματιού, για τον προγραμματισμό των βημάτων για την παραγωγή του. Μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους είναι η τριγωνοποίηση (tessellation) του γεωμετρικού μοντέλου, με την οποία η

παράπλευρη επιφάνεια του αντικειμένου προσεγγίζεται με επίπεδα τρίγωνα μικρού μεγέθους.

3.2.7 Βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων CAM

Τα συστήματα CAM χρησιμοποιούνται για σχεδιασμό της διαδικασίας παραγωγής ενός προϊόντος. Τα συστήματα CAM παρέχουν εργαλεία για μελέτη παραμέτρων και τη λήψη δεδομένων σε σχέση με την παραγωγή του προϊόντος.

Σκοπός της χρήσης ενός συστήματος CAM είναι η καθοδήγηση εργαλειομηχανών, μέσω της δημιουργίας κατάλληλου προγράμματος από το σύστημα CAM, το οποίο μεταφέρεται στον ελεγκτή (controller) της εργαλειομηχανής. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι:

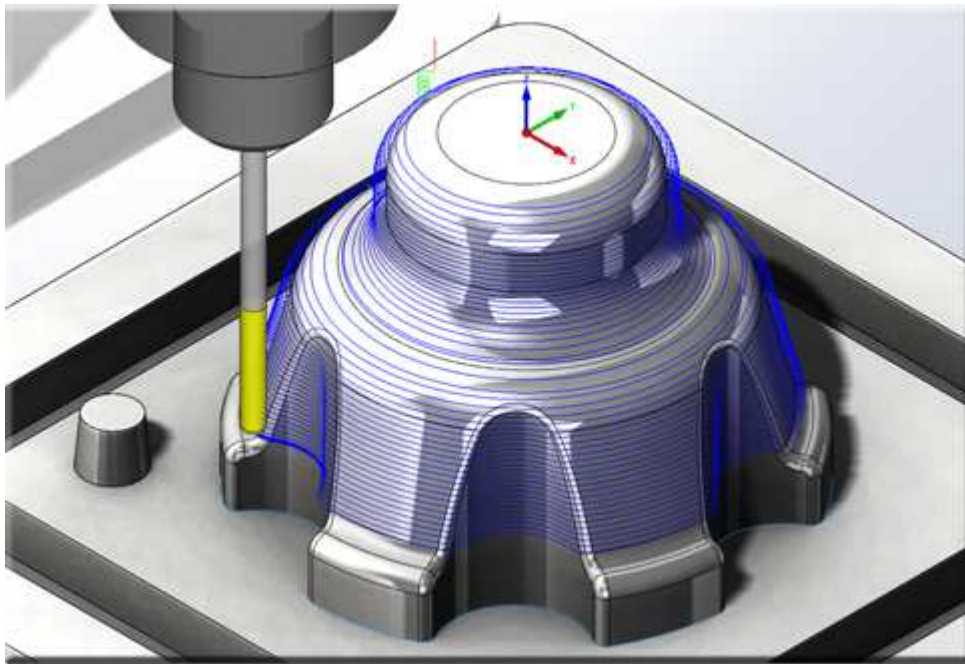
- Ο χρήστης μεταφέρει τη γεωμετρία του αντικειμένου από το σύστημα CAD στο σύστημα CAM. Ελάχιστα συστήματα CAD έχουν ενσωματωμένες δυνατότητες CAM. Όπως έχει αναφερθεί για την διαδικασία μεταφοράς γεωμετρίας χρησιμοποιούνται ουδέτερες μορφές αρχείων, στις οποίες η γεωμετρία απεικονίζεται με γεωμετρικά μοντέλα, που παρέχουν τη δυνατότητα ορισμού του σχήματος του αντικειμένου με μαθηματικό τρόπο.
- Ο χρήστης ορίζει τα χαρακτηριστικά της κοπής, μέσω παραθύρων διαλόγου και εργαλείων που παρέχονται από το σύστημα CAM. Τα χαρακτηριστικά της κοπής δεν ορίζονται αυτόματα από το σύστημα.
- Το σύστημα CAM προσομοιώνει στην οθόνη του υπολογιστή τη διαδικασία κοπής, εμφανίζοντας τα αποτελέσματα, σύμφωνα με τις παραμέτρους που έχουν οριστεί. Έτσι γίνεται έλεγχος για λάθη σε σχέση με τις επιθυμητές διαμορφώσεις κάθε αντικειμένου και σε σχέση με τις παραμέτρους της κοπής.
- Η διαδικασία κοπής εξάγεται από το σύστημα CAM σε μορφή προγράμματος, κατάλληλου για προγραμματισμό εργαλειομηχανών (G κώδικας).
- Το πρόγραμμα μεταφέρεται στον ελεγκτή της εργαλειομηχανής και ξεκινάει η διαδικασία κοπής.

Στην παραπάνω διαδικασία για την καθοδήγηση προγραμματιζόμενων εργαλειομηχανών πρέπει να επισημανθούν τα παρακάτω σημεία:

- Για την επιλογή του προγράμματος CAM πρέπει να μελετηθεί η συμβατότητα με το σύστημα CAD που χρησιμοποιείται. Συνήθως δεν υπάρχει δυνατότητα αντιμετώπισης προβλημάτων συμβατότητας μεταξύ των δύο λογισμικών.
- Για την επιλογή του προγράμματος CAM πρέπει να μελετηθεί η συμβατότητα με τον ελεγκτή της εργαλειομηχανής που χρησιμοποιείται. Γενικά όλοι οι ελεγκτές χρησιμοποιούν κάποια μορφή G κώδικα, υπάρχουν όμως κάποιες διαφοροποιήσεις μεταξύ του κώδικα που χρησιμοποιούν ελεγκτές διαφορετικών εταιρειών. Το πλήθος των ελεγκτών που υπάρχουν στην αγορά δεν είναι μεγάλο, αλλά δεν υποστηρίζουν όλα τα συστήματα CAM όλους του ελεγκτές που είναι διαθέσιμοι στην αγορά. Πρέπει να υποστηρίζεται ο ελεγκτής της εργαλειομηχανής που χρησιμοποιείται από το σύστημα CAM, η να είναι πλήρως συμβατός με κάποιο τύπο ελεγκτή που υποστηρίζεται από το λογισμικό. Συνήθως δεν υπάρχει δυνατότητα αντιμετώπισης προβλημάτων συμβατότητας μεταξύ του συστήματος CAM και του ελεγκτή.
- Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο χρήστης πρέπει να ορίσει τις παραμέτρους της παραγωγής κάθε κομματιού. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης ενός συστήματος CAM πρέπει να γνωρίζει πολύ καλά τις μηχανουργικές κατεργασίες, ώστε να μην ορίζει χαρακτηριστικά κοπής, τα οποία είναι εκτός των επιτρεπόμενων τιμών. Για παράδειγμα πρέπει ο χρήστης να ξέρει ότι μια συγκεκριμένη διαμόρφωση μπορεί να δημιουργηθεί με μια μέγιστη τιμή πρόωσης. Αν ορίσει στο σύστημα μια τιμή πρόωσης πάνω από τη μέγιστη, δε θα παραχθεί σωστά η συγκεκριμένη διαμόρφωση. Επιπλέον ο χρήστης ενός συστήματος CAM πρέπει να γνωρίζει τις παραγωγικές δυνατότητες των εργαλειομηχανών που έχει στη διάθεση του. Είναι πιθανό να ορίζει χαρακτηριστικά κοπής, όπως πρόωση και ταχύτητα κοπής ορίζοντας τιμές, εκτός των προδιαγραφών λειτουργίας των εργαλειομηχανών που υπάρχουν στην εκάστοτε παραγωγική διαδικασία.
- Υπάρχει ένα πλήθος παραμέτρων της διαδικασίας κοπής που δεν είναι εφικτό να οριστούν στο σύστημα CAM. Τέτοιες παράμετροι είναι ο τρόπος τοποθέτησης και συγκράτησης του δοκιμίου, ο προσδιορισμός της βέλτιστης διαδικασίας για την μια συγκεκριμένη αλληλουχία διαμορφώσεων, κ.λπ. Για αυτές τις παραμέτρους έχουν αναπτυχθεί ειδικά λογισμικά εργαλεία (συστήματα virtual manufacturing, όπως το σύστημα της Delmia, της Engineering Animation inc. Κ.λπ.), τα οποία επιτρέπουν τη μελέτη της διαδικασίας παραγωγής προϊόντων, εκτός από τη δημιουργία του

φρασεολογίου παραγωγής και του προγράμματος καθοδήγησης των εργαλειομηχανών.

Γίνεται κατανοητό ότι η διαδικασία καθοδήγησης εργαλειομηχανών, είτε πρόκειται για κοπή (που αναφέρεται στη συγκεκριμένη ενότητα), είτε για άλλη διαμόρφωση είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και απαιτεί σημαντικό θεωρητικό και τεχνικό υπόβαθρο, πέρα από την εκμάθηση της χρήσης του συστήματος CAM. Επίσης η πολυπλοκότητα των σύγχρονων διαδικασιών παραγωγής απαιτεί τη χρήση επιπλέον εργαλείων για μελέτη και προσομοίωση των διαδικασιών παραγωγής, ώστε να αποφεύγονται πιθανά λάθη που μπορεί να προκύψουν στο σύστημα CAM, όπου ο χρήστης ορίζει τις βασικές παραμέτρους όλης της διαδικασίας.» (Πετούσης, 2003)



Εικόνα 3- 4 Σύστημα κατεργασίας CNC (φρεζάρισμα)

4.0 Μεθοδολογία

Σε αρχικό στάδιο έγινε επιλογή του ποντικιού-mouse ως μηχανολογικού εξαρτήματος στο οποίο αποφασίστηκε ότι θα εφαρμοστεί η διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής, για να φανεί αναλυτικά βήμα βήμα πως μπορεί ο μέσος αναγνώστης εφαρμόζοντας τα βήματα που θα αναφερθούν στο case study και έχοντας πάντα τον κατάλληλο εξοπλισμό να επαναλάβει την διαδικασία ξανά και να αποφέρει τα ίδια αποτελέσματα.

Η δομή της προγραμματισμένης εργασίας θα χωριστεί σε 3 φάσεις οι οποίες είναι:

- Αποτύπωση του ποντικιού-mouse
- Δημιουργία επιφανειών
- Μέθοδος κατεργασίας σε CNC

Στο πρώτο στάδιο θα γίνει χρήση του SLS-3 3d scanner για να αποτυπωθεί με όσο μεγαλύτερη ακρίβεια γίνεται το ποντίκι ,με σκοπό να εμφανιστεί ένα πλέγμα το οποίο θα δώσει τη δυνατότητα στο χρήστη, μετά την τροποποίηση του, να επιστρέψει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα δηλαδή επιφάνεια μορφοποίησης. Η διαδικασία περιλαμβάνει σύνδεση του συστήματος σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, ρύθμιση του 3d scanner, αρχικοποίηση του οργάνου για την μέγιστη δυνατή απόδοση(**structured light**) και στο τέλος πραγματοποίηση λήψεων οι οποίες θα μεταφραστούν στο επόμενο βήμα ως ένα πλέγμα το οποίο μπορεί να τροποποιηθεί

Στο επόμενο βήμα πραγματοποιείται εισαγωγή του πλέγματος (mesh) στο Solidworks premium και με εντολές του προγράμματος γίνεται μετατροπή του τρισδιάστατου πλέγματος, αφαιρώντας τα τμήματα τα οποία δεν χρειάζονται, σε επιφάνειες και έπειτα δημιουργείται ένα solid εξάρτημα-αντικείμενο(**mesh prep wizard, surface wizard, Surface trim, Surface fill, 3D Sketch**), προσθέτοντας ή αφαιρώντας λεπτομέρειες(**trim**) που είτε δεν είναι επιθυμητές ή είναι αχρείαστες με σκοπό να γίνει αναπαράσταση του αντικειμένου με όσο μεγαλύτερη ακρίβεια γίνεται σε σχέση με το (Fillet, Knit surface, Plane).

Στην τελευταία φάση της εργασίας το πλέον solid εξάρτημα θα τοποθετηθεί στο HSM PRO. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα θα γίνει προσομοίωση των διαδικασιών κοπής σε CNC(**Face ,Scallop, Morphed spiral, Ramp, Parallel**).

5.0 Case study

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα εξηγήσουμε όλη την πειραματική διαδικασία την οποία ακολουθήσαμε, ξεκινώντας από την μεθοδολογία της τρισδιάστατης αποτύπωσης του ποντικιού, τις ρυθμίσεις που έπρεπε να ορίσουμε στο 3d scanner, την σωστή τοποθέτηση της κάμερας καθώς και τον τρόπο τοποθέτησης του πάνελ και την διαδικασία της βαθμονόμησης της κάμερας για να πάρουμε σωστά και ακριβή αποτελέσματα. Ακόμα θα εξηγήσουμε αναλυτικά πως από ένα πλέγμα (mesh) θα δημιουργήσουμε σταθερές (solid) επιφάνειες μέχρι την τελική απεικόνιση του ποντικιού σε τρισδιάστατη μορφή. Τέλος θα εξηγήσουμε όλες εκείνες τις διαδικασίες και εντολές οι οποίες μας δίνουν τη δυνατότητα να μετατρέψουμε ακατέργαστη πλάκα μετάλλου σε ένα ποντίκι υπολογιστή.

5.1 Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν

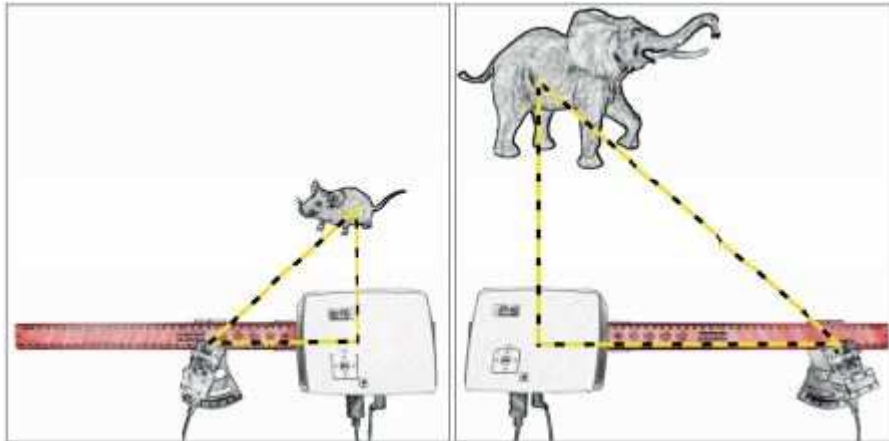
Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για να μπορέσουμε να ολοκληρώσουμε την μελέτη της αποτύπωσης και κατεργασίας του ποντικιού είναι τα εξής:

1. Davis sls-3 3d scanner
2. Solidworks professional 2015
3. HSM PRO 2015

5.2 Ρύθμιση του 3d scanner-θέση της κάμερας

Το πρώτο μέλημα πριν ξεκινήσουμε να αποτυπώνουμε το ποντίκι είναι να ρυθμίσουμε την κάμερα του David sls-3 με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε οι μετρήσεις-απεικονίσεις που θα παρθούν να είναι όσο το δυνατόν πιο καθαρές.

Μέγεθος του αντικειμένου προς αποτύπωση	Θέση της κάμερας(Πίσω όψη)
Μέχρι 110mm	Αριστερά του προβολέα
Από 110mm μέχρι 350mm	Καλύτερα στα αριστερά
Από 350 mm +	Δεξιά του προβολέα

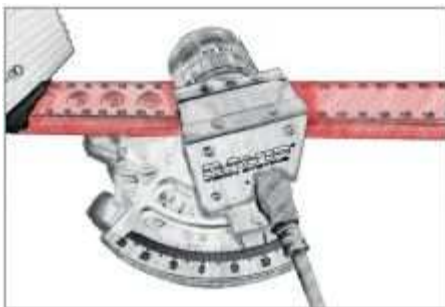


Εικόνα 5.2.1 Μικρό αντικείμενο στα αριστερά-Μεγάλο αντικείμενο στα δεξιά

Το ποντίκι το οποίο θα αποτυπωθεί έχει μέγεθος 60 mm οπότε με βάση της οδηγίες έγινε επιλογή και τοποθέτηση αριστερά του προβολέα.

5.3 Περιστροφή της κάμερας

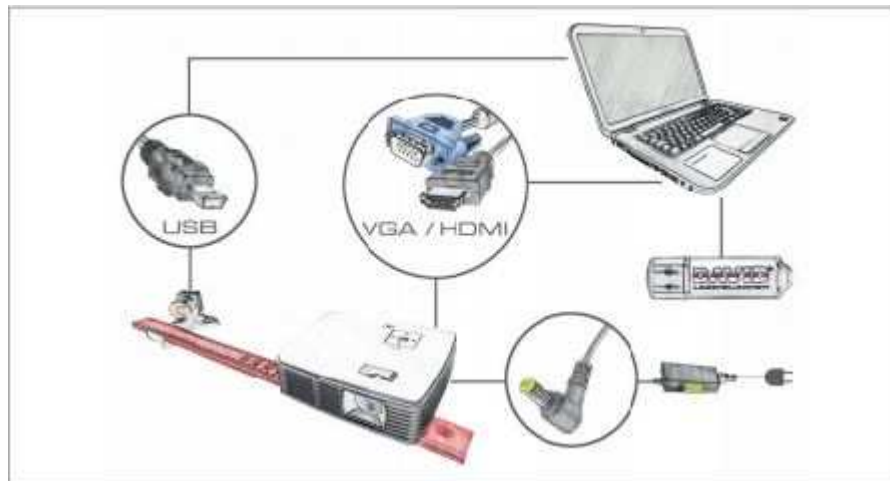
Για να γίνει σωστή τοποθέτηση της κάμερας είναι απαραίτητο η κάμερα να είναι ρυθμισμένη στις 22 μοίρες για τέτοιου μεγέθους αντικείμενα. Για την ρύθμιση αυτή θα πρέπει να ξεβιδωθεί ο κοχλίας που συγκρατεί την κάμερα πάνω στο μοιρογνωμόνιο και να περιστραφεί μέχρι τις 22 μοίρες.



Εικόνα 5.3.1 Ρύθμιση στις 22 μοίρες

5.4 Σύνδεση της κάμερας στον υπολογιστή

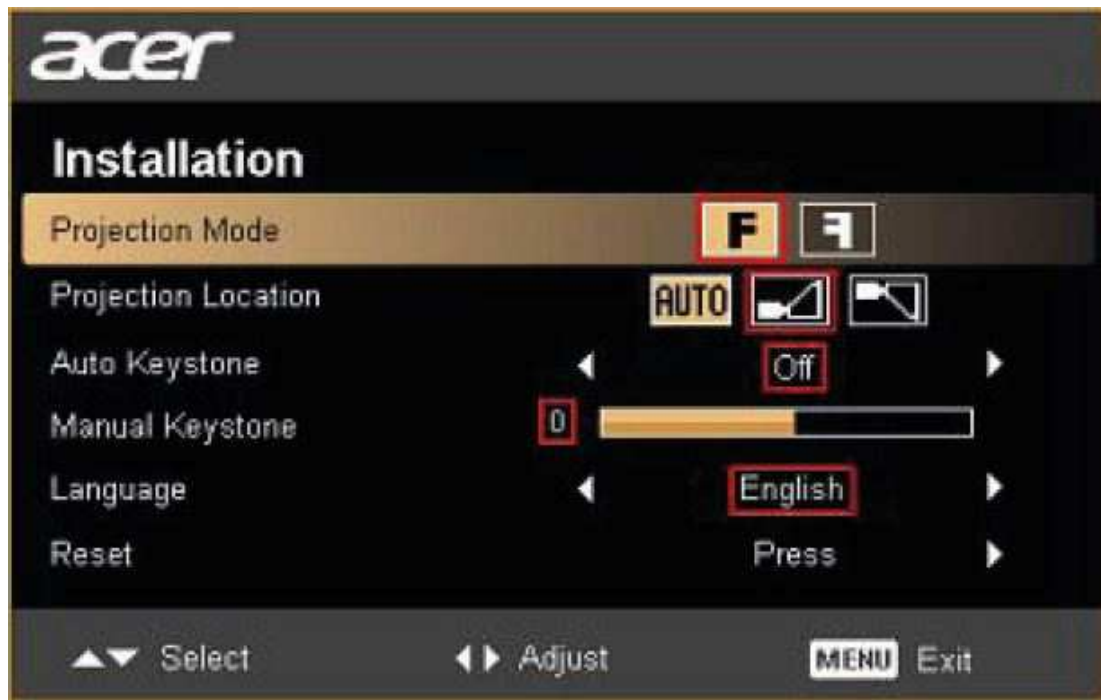
Για την σωστή λειτουργία του συστήματος του 3d-scanner πρέπει να ακολουθηθεί η παρακάτω συνδεσμολογία:



Εικόνα 5.4.1 Διάγραμμα συνδεσμολογίας

5.6 Ρύθμιση του προβολέα

Για την ρύθμιση του προβολέα ακολουθούνται οι ρυθμίσεις που υπάρχουν μέσα στο manual του κατασκευαστή.

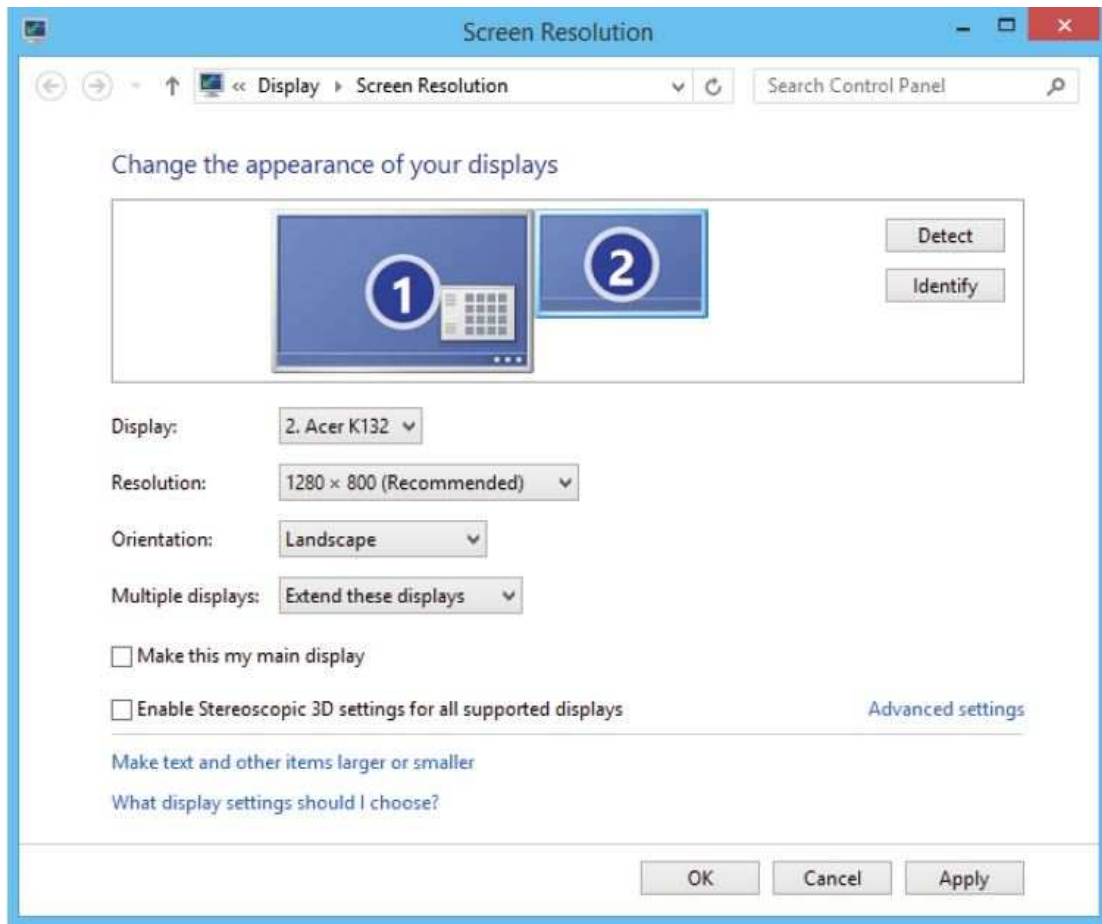


Εικόνα 5.6.1 Ρυθμίσεις προβολέα

5.7 Ρύθμιση του προβολέα στην οθόνη του υπολογιστή

Στο τελευταίο βήμα πριν τη βαθμονόμησης της κάμερας θα πρέπει να ρυθμιστεί ο προβολέας έτσι ώστε να απεικονίζει το αντικείμενο προς αποτύπωση στην οθόνη του υπολογιστή.

Οι ρυθμίσεις είναι οι εξής:



Με αυτή την τελευταία ρύθμιση είμαστε έτοιμοι να μπούμε στο περιβάλλον του DAVID SLS-3 3D scanner και να ξεκινήσουμε την διαδικασία της βαθμονόμησης του scanner για να μπορέσουμε στη συνέχεια να πάρουμε τις λήψεις που θέλουμε.

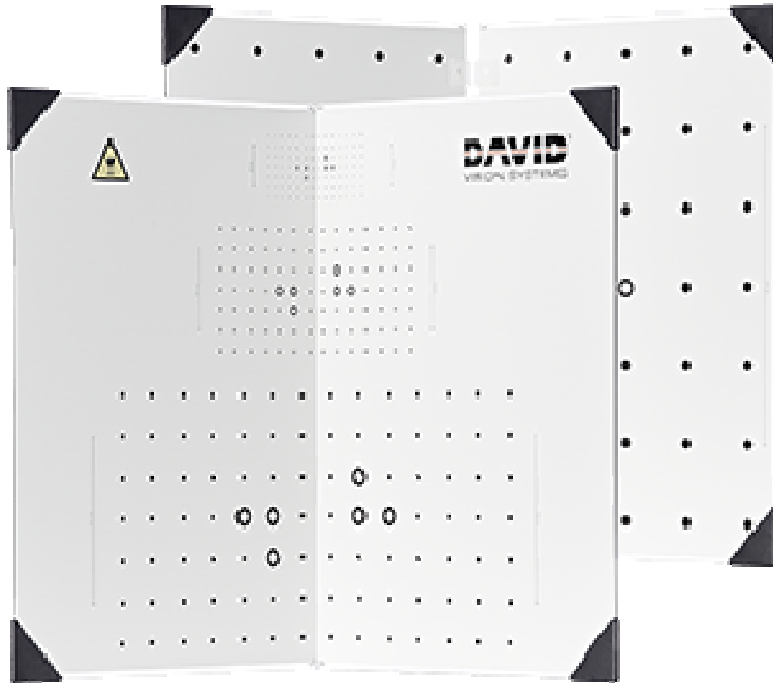
5.8 Βαθμονόμησης κάμερας 3d scanner

5.8.1. Συναρμολόγηση εξοπλισμού

Στο βήμα αυτό είναι απαραίτητο να στηθεί όλος ο εξοπλισμό του David sls-3.

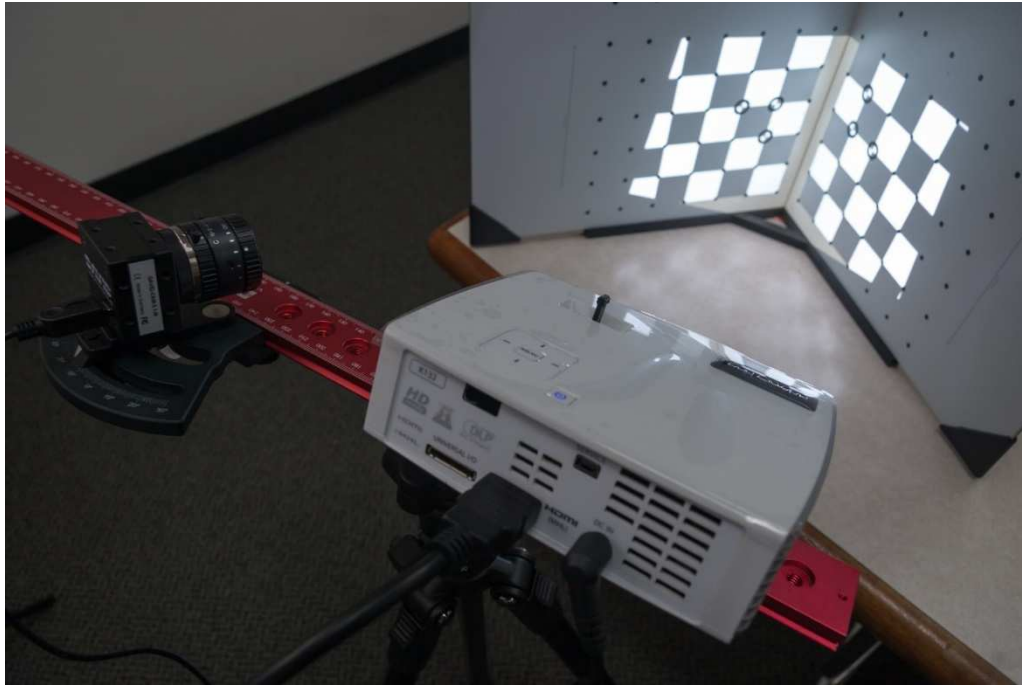
Αρχικά όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα το μέγεθος του mouse είναι 60 mm οπότε τοποθετείται η κάμερα στο αριστερό μέρος του προβολέα και στη συνέχεια

συναρμολογείτε το πάνελ για τη βαθμονόμηση βάζοντας το μέσα στις υποδοχές των βάσεων.



Εικόνα 5.8.1.1 Πάνελ βαθμονόμησης

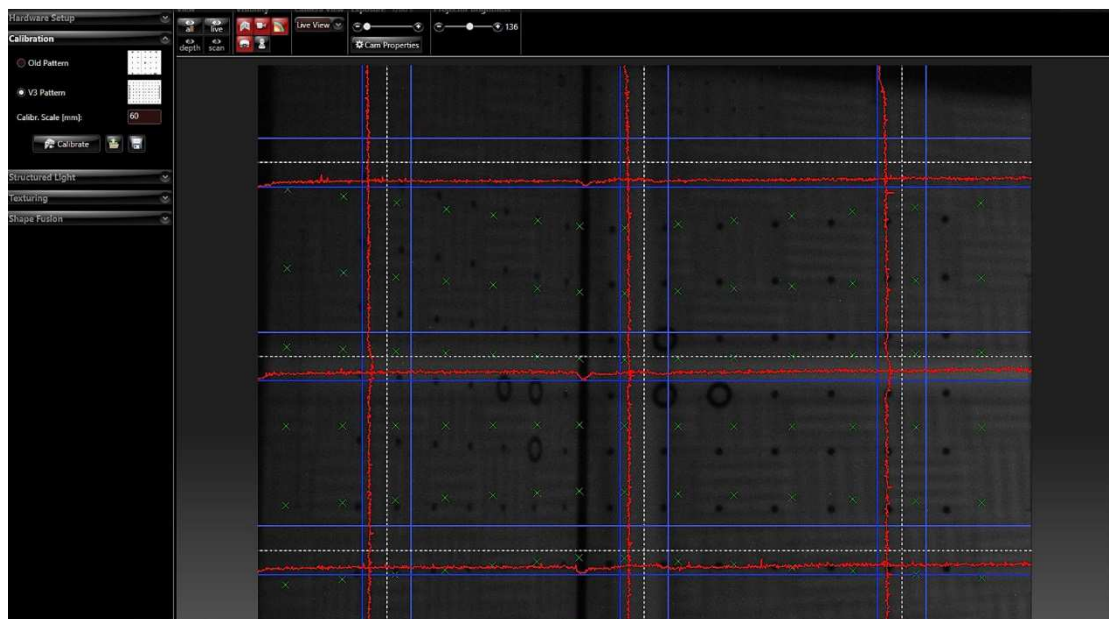
Επειδή το μέγεθος του mouse χωράει οριακά στο μεσαίο σύστημα βαθμονόμησης, γίνεται επιλογή του τρίτου συστήματος για να είναι σίγουρο ότι η βαθμονόμηση καθώς και οι απεικονίσεις που θα πραγματοποιηθούν στη συνέχεια θα είναι ακριβείς.



Εικόνα 5.8.1.2 Συναρμολόγηση συστήματος

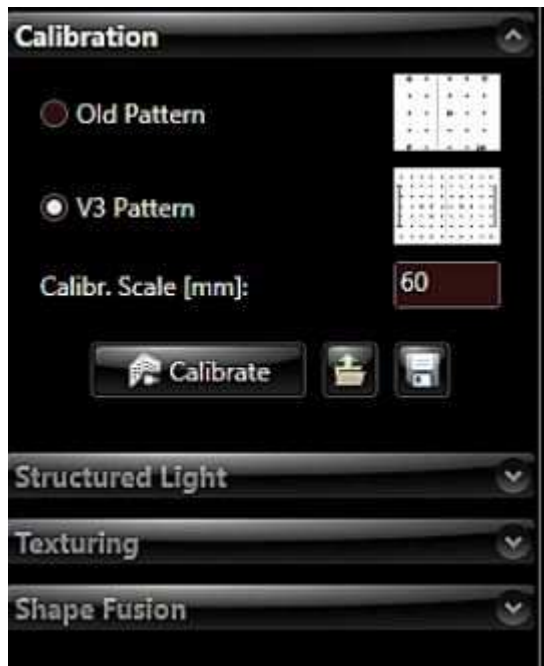
5.8.2 Ρυθμίσεις υπολογιστή για βαθμονόμηση

Εφόσον έχει συνδεθεί και συναρμολογήθει σωστά το σύστημα του 3d scanner θα πρέπει η οθόνη του υπολογιστή να εμφανίζει αυτή την απεικόνιση.

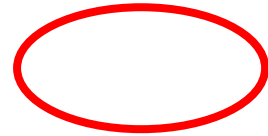
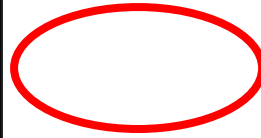


Εικόνα 5.8.2.1 Οθόνη υπολογιστή πριν τις ρυθμίσεις

Προτού προχωρήσουμε σε οποιαδήποτε λήψη θα πρέπει να ορίσουμε τις εξής παραμέτρους:

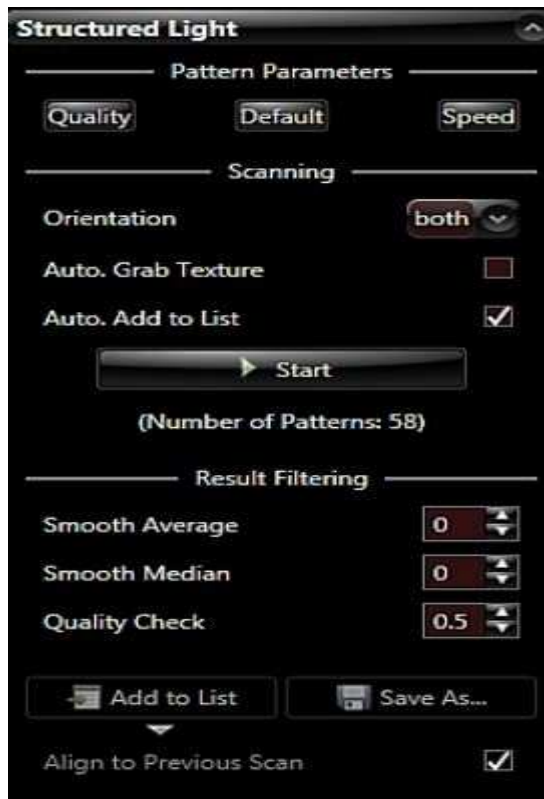


- Επιλέγουμε V3 Pattern
- Calibration scale: 60mm



Εικόνα 5.8.2.2 Calibration settings

Και αφήνουμε τις ρυθμίσεις του structured light όπως έχουν:



Εικόνα 5.8.2.3 Structured light settings

5.8.3 Βασικές ρυθμίσεις κάμερας και προβολέα

Τελειώνοντας με τις ρυθμίσεις του υπολογιστή πρέπει να ολοκληρωθούν και οι ρυθμίσεις της κάμερας και του προβολέα.

Για να θεωρηθεί λοιπόν ότι όλες οι απαιτούμενες ρυθμίσεις έχουν πραγματοποιηθεί σωστά πρέπει:

- 1) Τα **επίπεδα φωτεινότητας** να είναι αρκετά υψηλά για να είναι ευδιάκριτα τα σημεία καθώς και οι κύκλοι του πάνελ.
- 2) Η εικόνα να είναι **καθαρή** και όχι θολή.
- 3) Οι **κόκκινες γραμμές** που κινούνται πάντα μέσα στα όρια των μπλε γραμμών, να βρίσκονται στο **κέντρο των ορίων** με ελάχιστες αποκλίσεις.
- 4) Όταν οι κόκκινες γραμμές έρχονται σε επαφή με τους κύκλους να υπάρχει **μεγάλη ταλάντωση** οδηγώντας μας στο συμπέρασμα ότι η κάμερα αντιλαμβάνεται τα διαφορετικά σχήματα και επιφάνειες.

Για να τα επιτύχουμε θα πρέπει να:



david.creativetools.se

Εικόνα 5.8.3.1 Ρύθμιση κάμερας
του υπολογιστή.

a. Να ρυθμίσουμε μετακινώντας δεξιά ή αριστερά την έκθεση στο φως και

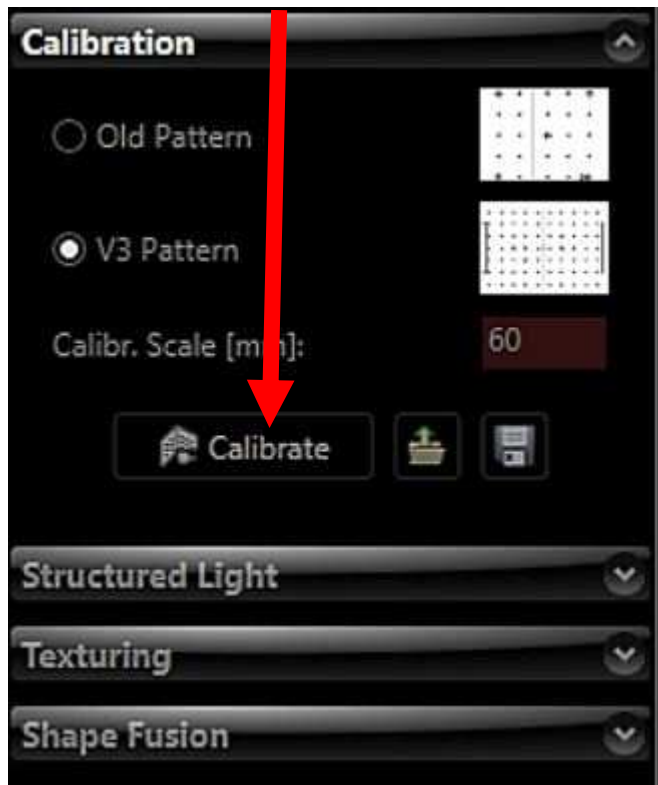
b. την εστίαση της κάμερας μέχρι να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα στην οθόνη

Ένας ακόμα παράγοντας που θα πρέπει να αλλάξει είναι η εστίαση του προβολέα η οποία ρυθμίζεται από το μοχλό που βρίσκεται πάνω του μετακινώντας τον και στις 2 κατευθύνσεις μέχρι να έρθει το επιθυμητό στην οθόνη αποτέλεσμα.



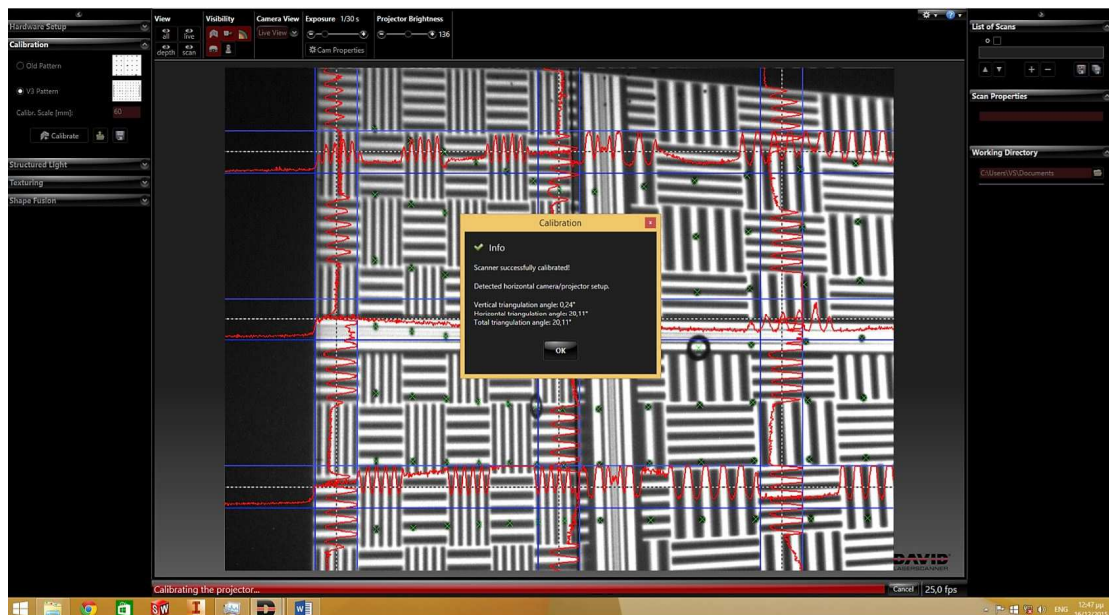
Εικόνα 5.8.3.2 Ρύθμιση προβολέα

Έχοντας ολοκληρώσει λοιπόν όλες τις ρυθμίσεις του υπολογιστή, του προβολέα και της κάμερας, πραγματοποιούμε τη βαθμονόμηση .



Εικόνα 5.8.3.3 Calibration button

Και εμφανίζεται στην οθόνη μας το μήνυμα



Εικόνα 5.8.3.4 Calibration successful

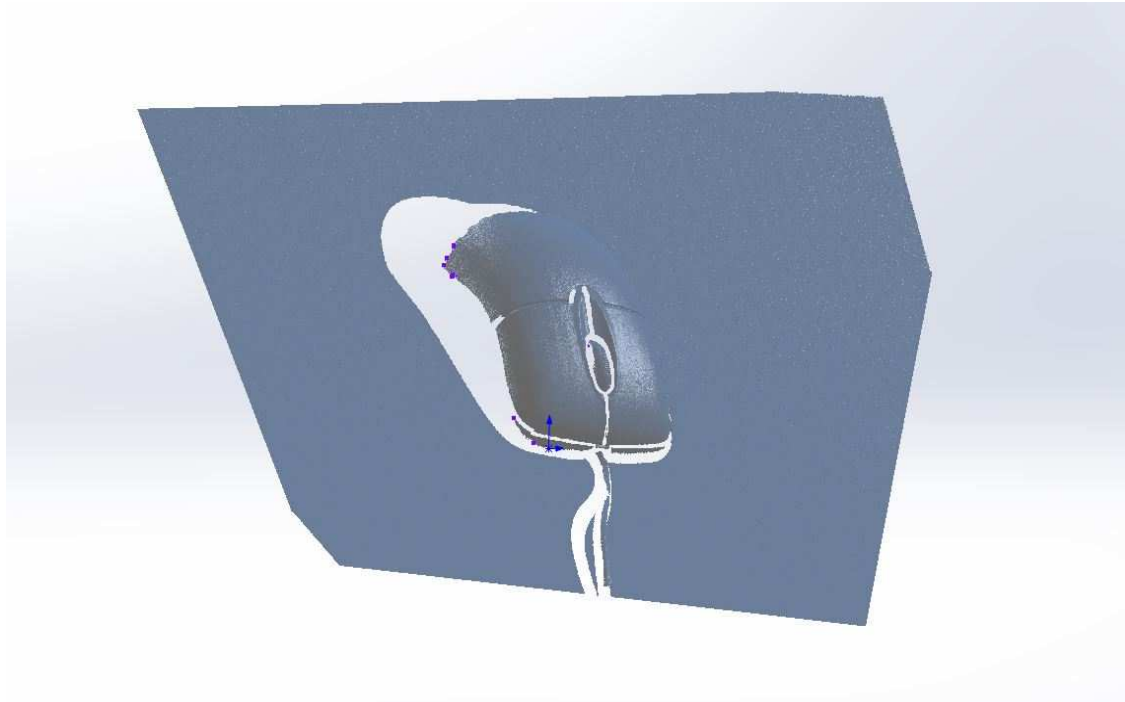


Εικόνα 5.8.3.5 Calibration message

5.8.4 Σάρωση mouse

Σε αυτό το βήμα έχοντας ήδη ρυθμίσει και βαθμονομήσει το scanner πραγματοποιούνται οι απαιτούμενες λήψεις μέχρι το αποτέλεσμα να είναι ικανοποιητικό.

Μετά από αρκετές λήψεις, αυτή που ικανοποιούσε σε μεγαλύτερο βαθμό τις απαιτήσεις μας ήταν η παρακάτω:



Εικόνα 5.8.4.1 Scanned mouse

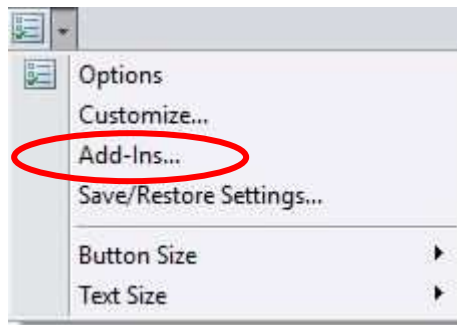
Η συγκεκριμένη σάρωση περιέχει:

1. Υψηλή ποιότητα επιφάνειας το οποίο συμβάλλει στην καλύτερη δημιουργία επιφανειών.
2. Περισσότερες λεπτομέρειες, συνεπώς θα παρέχει καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα.
3. Λιγότερα σφάλματα επιφάνειας (σημειωμένα με μοβ τελείες) οπότε θα χρειαστεί λιγότερες τροποποιήσεις.

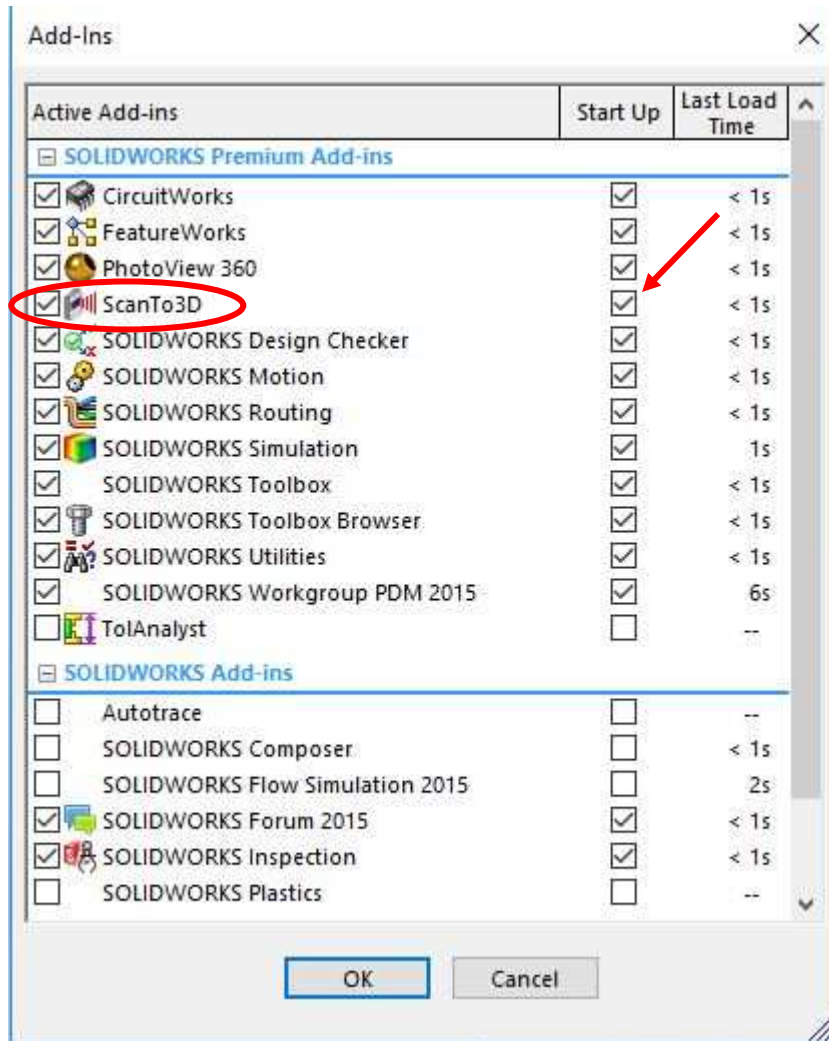
5.9 Επεξεργασία της αποτυπωμένης επιφάνειας

5.9.1 Επεξεργασία του πλέγματος (mesh)

Εφόσον έχει γίνει επιλογή του πλέγματος το οποίο θα χρησιμοποιηθεί (κεφάλαιο 5.8.4) και έχοντας ήδη εγκαταστήσει το **Solidworks premium 2015** καθώς είναι το μόνο το οποίο έχει την επιλογή Scan to 3d μέσω του **Add-ins** → **Scan to 3d**.



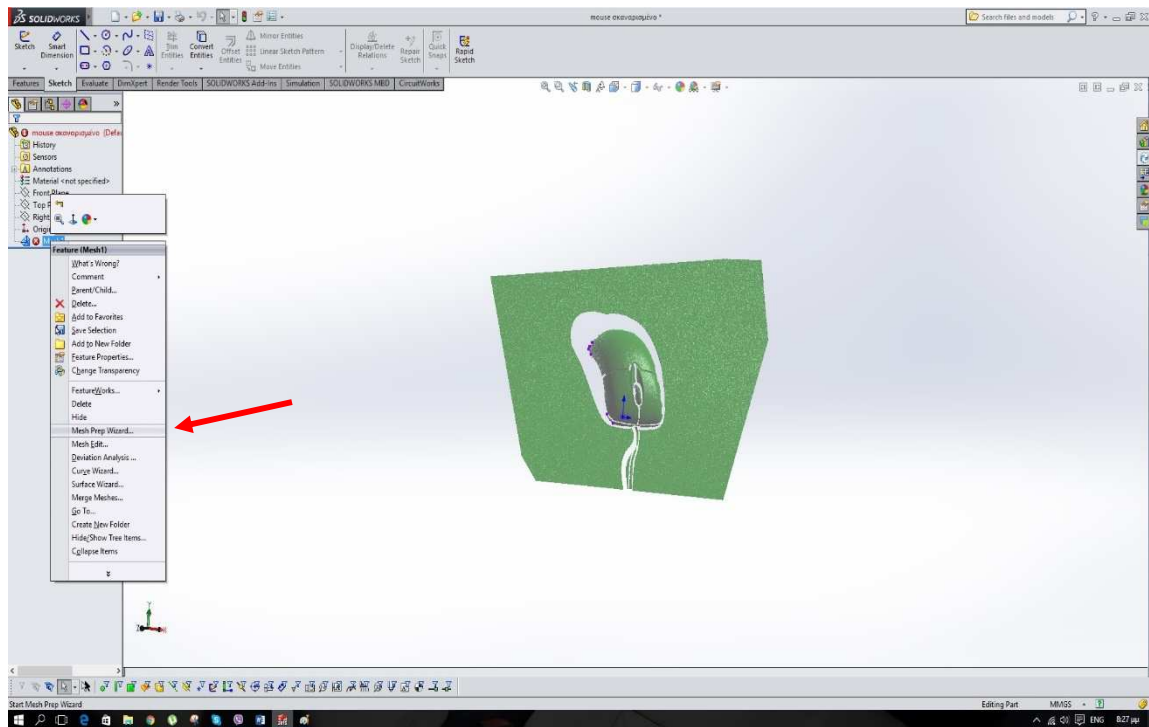
Εικόνα 5.9.1.1 Add-ins



Εικόνα 5.9.1.2 Scan to 3d

Για διευκόλυνση γίνεται επιλογή **Start up** για να είναι διαθέσιμη η επιλογή του scan to 3d κάθε φορά που ενεργοποιείτε το πρόγραμμα .

Εφόσον έχει ενεργοποιηθεί η επιλογή Scan to 3d ξεκινάει η διαδικασία δημιουργίας της επιφάνειας εφαρμόζοντας πρώτα την εντολή **Mesh prep wizard**.



Εικόνα 5.9.1.3 Mesh prep wizard

Στο επόμενο βήμα εμφανίζονται οι επιφάνειες κατεργασίας (plane).



Εικόνα 5.9.1.4 Plane



Εικόνα 5.9.1.5 Visibility

Η κίνηση αυτή θα βοηθήσει στη συνέχεια, καθώς θα χρειαστεί να κεντραριστεί η αποτυπωμένη επιφάνεια.

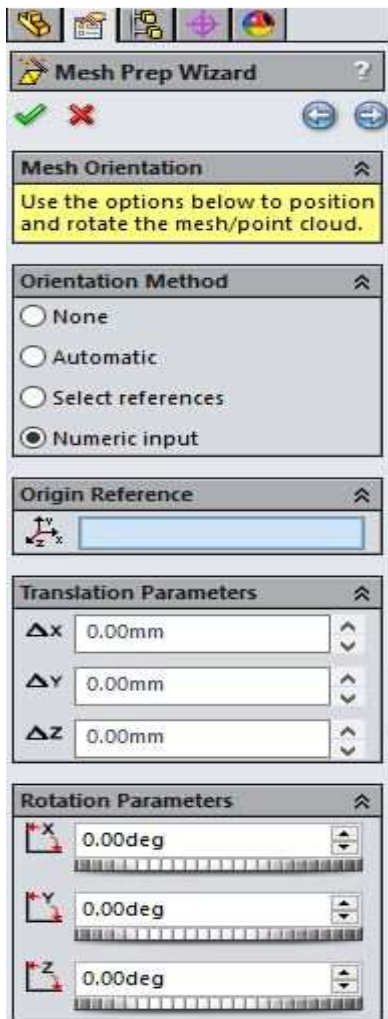
Στο πρώτο βήμα του Mesh prep wizard πρέπει να επιλέξουμε το πλέγμα το οποίο επιθυμούμε να επεξεργαστούμε.



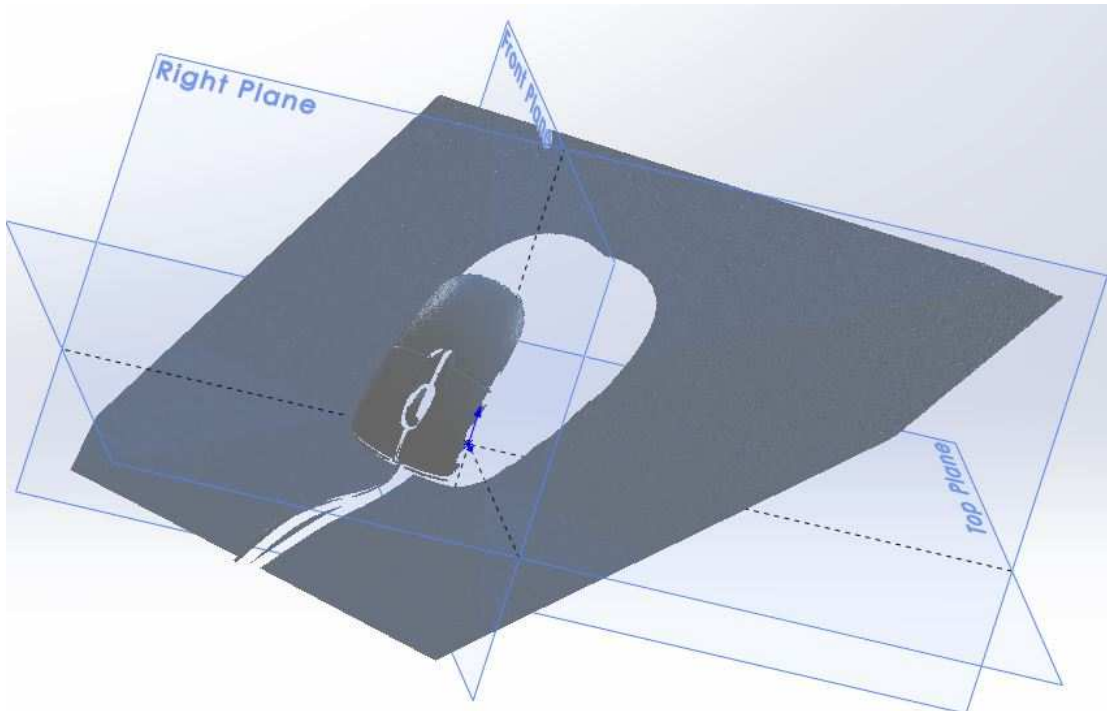
Εικόνα 5.9.1.6 Βήμα 1ο

Το οποίο μας έχει ήδη προεπιλέξει το πρόγραμμα.

Στο επόμενο βήμα ζητείται να δηλώσουμε τον προσανατολισμό του πλέγματος. Εδώ είναι χρήσιμα τα plane τα οποία έγιναν ορατά στο προηγούμενο βήμα.



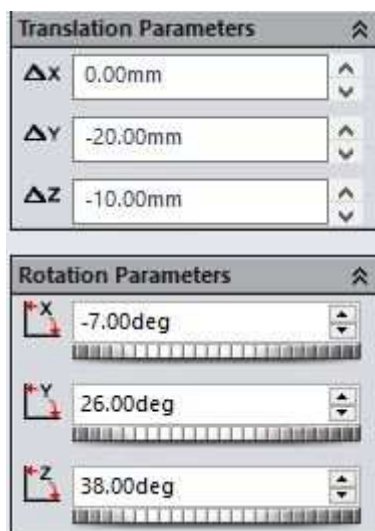
Εικόνα 5.9.1.7 Βήμα 2ο



Εικόνα 5.9.1.8 Αρχική τοποθέτηση Plane

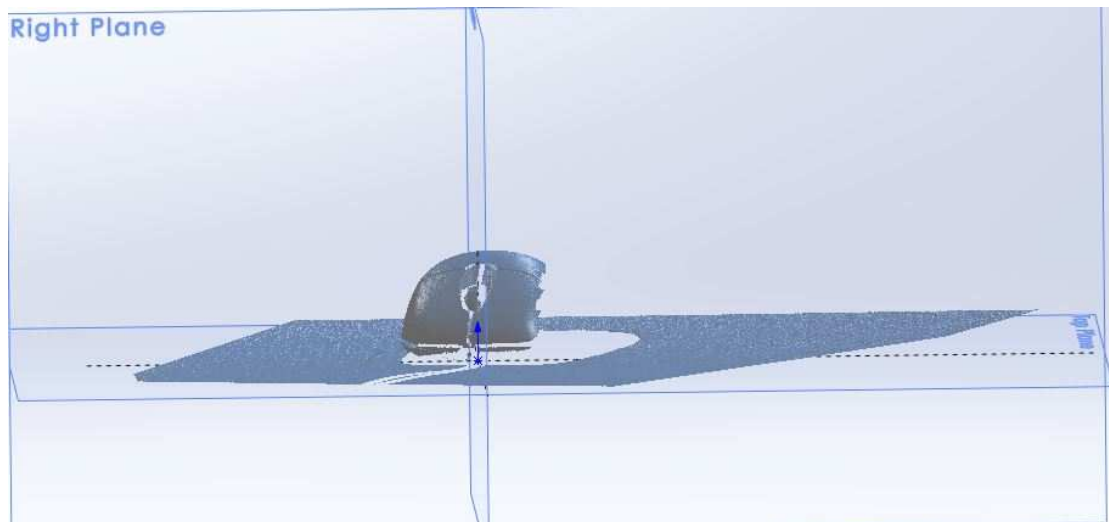
Αλλάζοντας συνεπώς τις παραμέτρους Translation Parameters και rotation Parameters όπως παρουσιάζονται στην εικόνα (5.9.1.7 Βήμα 2^ο).

Οι καινούργιες ρυθμίσεις είναι οι εξής:



Εικόνα 5.9.1.9 Καινούργιες ρυθμίσεις

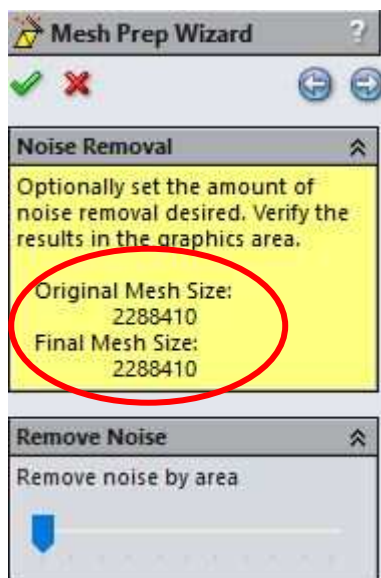
Ενώ το μοντέλο έχει πλέον αλλάξει προσανατολισμό και βρίσκεται ως εξής:



Εικόνα 5.9.1.10 Προσαρμοσμένο στο χώρο μοντέλο

Το μοντέλο μας είναι πλήρως κεντραρισμένο με τους υποθετικούς στο χώρο άξονες και έτοιμο για να συνεχιστεί η διαδικασία.

Στο επόμενο βήμα μας ζητάει να μειώσουμε τον «θόρυβο» του πλέγματος εννοώντας να μας κάνει το πλέγμα πιο μικρό σε μέγεθος. Επειδή ο σκοπός είναι να δημιουργηθεί καλή ποιότητα επιφάνειας δεν τροποποιείται το μέγεθος του πλέγματος.



Εικόνα 5.9.1.11 Μείωση "θορύβου"

Στο επόμενο βήμα του Mesh prep wizard το πρόγραμμα δίνει την επιλογή να αφαιρεθούν κατά βούληση όσα τμήματα του πλέγματος δεν θέλουμε να γίνουν επιφάνειες. Εφόσον

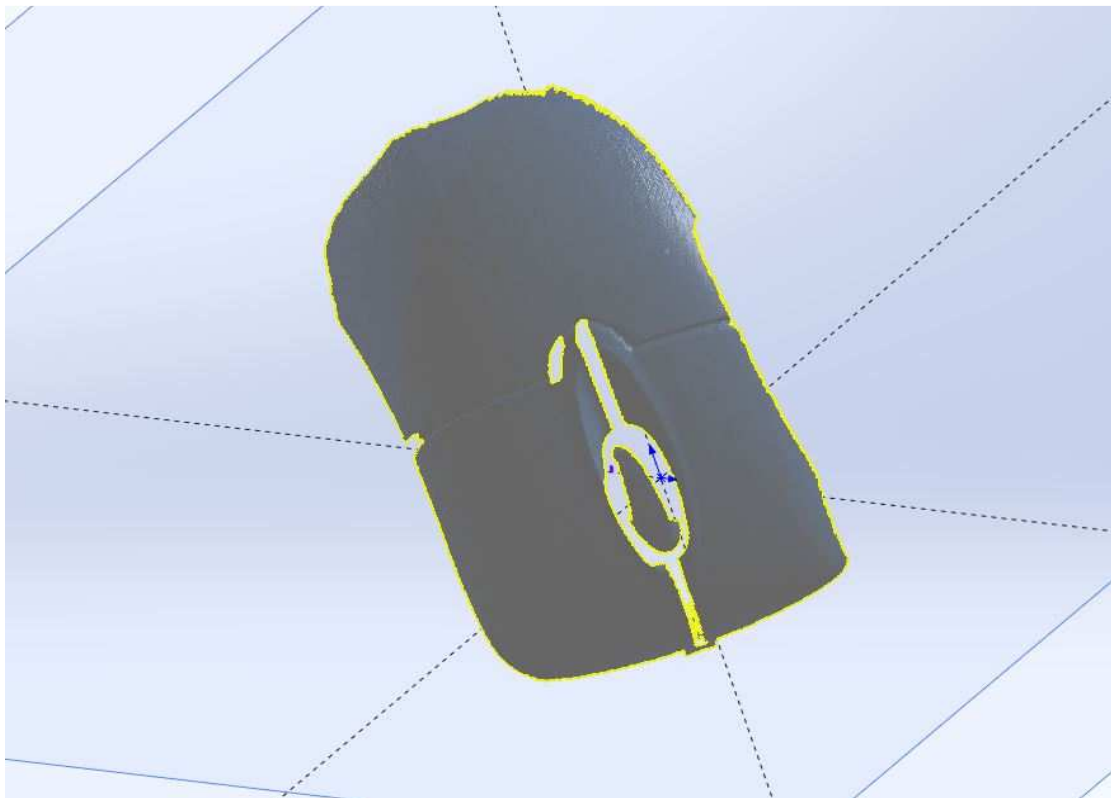
ενδιαφερόμαστε μόνο για το ποντίκι, αφαιρούμε το τμήμα του δαπέδου πάνω στο οποίο ήταν τοποθετημένο όταν πάρθηκε το αποτύπωμα του. Η εντολή του Solidworks είναι η εξής:



Εικόνα 5.9.1.12 Lasso selection

Γίνεται επιλογή του **Lasso selection** για περισσότερη ευελιξία.

Μετά την κοπή των ανεπιθύμητων κομματιών το μοντέλο μας πλέον έχει την μορφή:

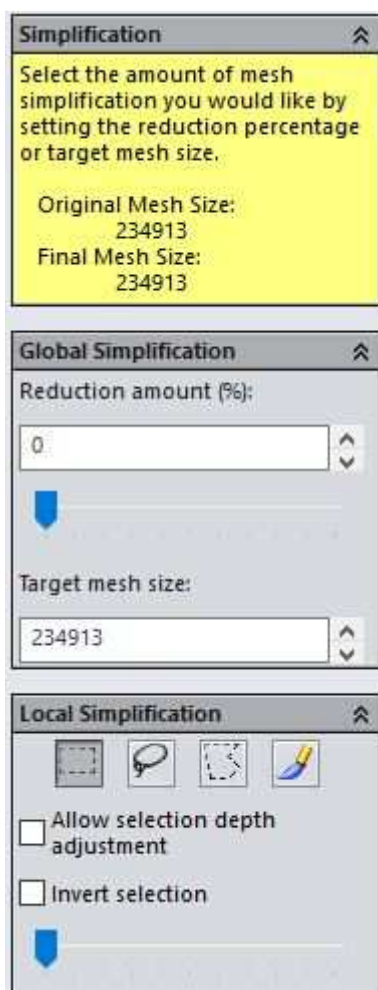


Εικόνα 5.9.1.13 Νέο μοντέλο

Να σημειωθεί πως πρέπει να αφαιρεθούν και κάποιες επιφάνειες του ίδιου του ποντικιού καθώς σημειώνονται στο πλέγμα μας με μοβ τελείες δηλώνοντας έτσι πως δεν είναι καλή ποιότητα πλέγματος και μπορεί να προκαλέσει κάποιο σφάλμα στην δημιουργία επιφανειών (φαίνονται χαρακτηριστικά στην εικόνα **5.8.4.1**).

Απλά για να γίνει αντιληπτό σε πόσο μεγάλο βαθμό μειώθηκε το πλέγμα , πρέπει να αναφερθεί ότι το αρχικό πλέγμα ήταν **Mesh size 2288410** ενώ τώρα είναι **Mesh size 23913**.

Προχωρώντας στην προς την ολοκλήρωση του **Mesh prep wizard** το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να αλλοιώσουμε την επιφάνεια του ποντικιού **global ή local simplification**.

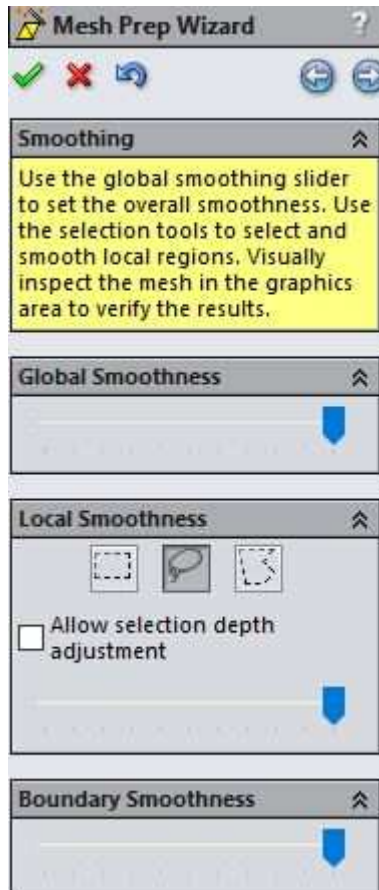


Εικόνα 5.9.1.14 Απλούστευση-Αλλοίωση επιφάνειας

Για ακόμα μια φορά επιμένουμε να μην πειράξουμε τις παραμέτρους για την ποιότητα της επιφάνειας καθώς θα αλλοιώσει το τελικό αποτέλεσμα-επιφάνεια ποντικιού.

Στο επόμενο βήμα όμως του Mesh prep wizard μας ζητείτε να τροποποιηθεί η επιφάνεια λειαίνοντας την.

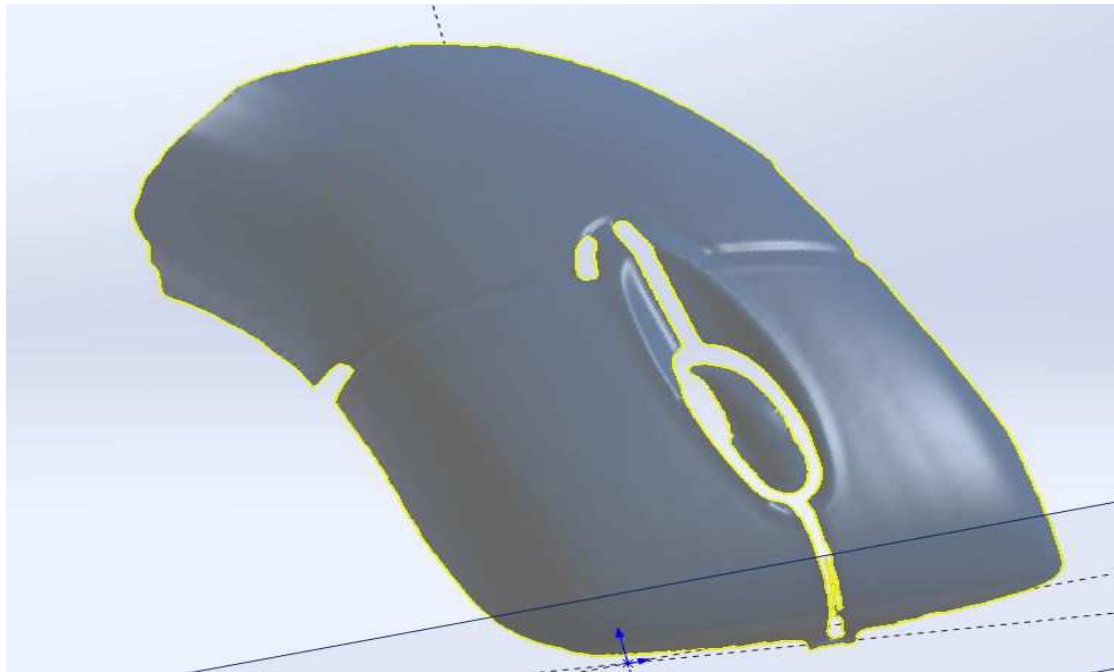
Εφόσον υπάρχει ενδιαφέρον για την ποιότητα της επιφάνειας θα μεταφερθεί ο κέρσορας στο maximum.



Εικόνα 5.9.1.15 Λείανση επιφάνειας

Εφαρμόζοντας την εντολή αυτή τα σημεία του μοντέλου που περιέχουν εξογκώματα λειαίνονται αυτόματα και εξομαλύνονται.

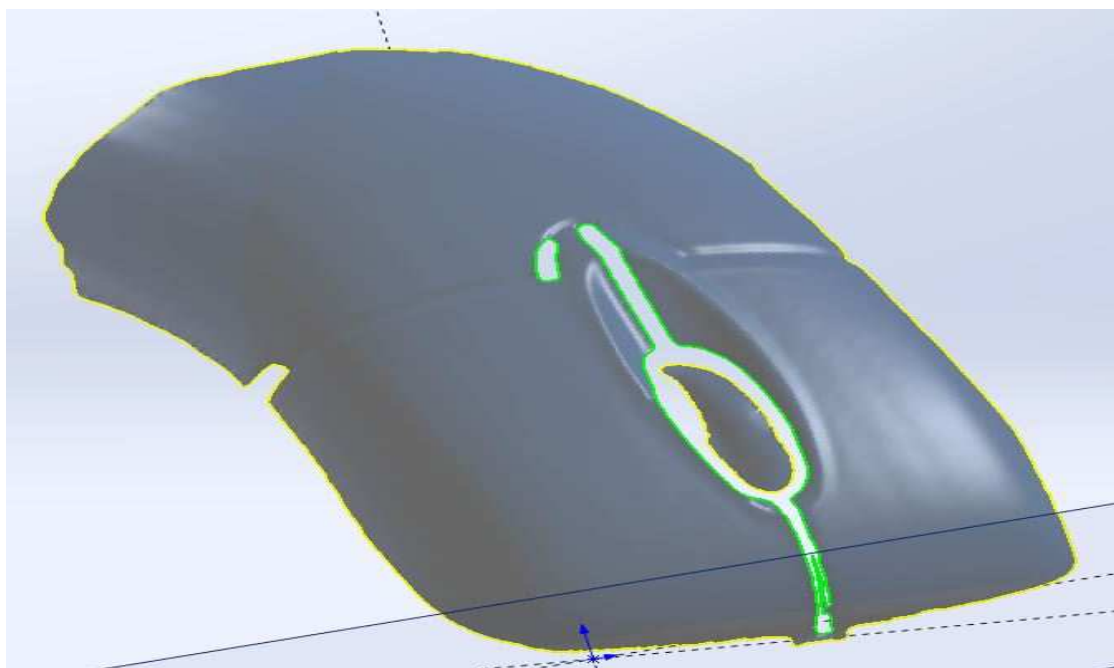
Το αποτέλεσμα των αλλαγών αυτών είναι εμφανές στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 5.9.1.16 Αποτέλεσμα λείανσης

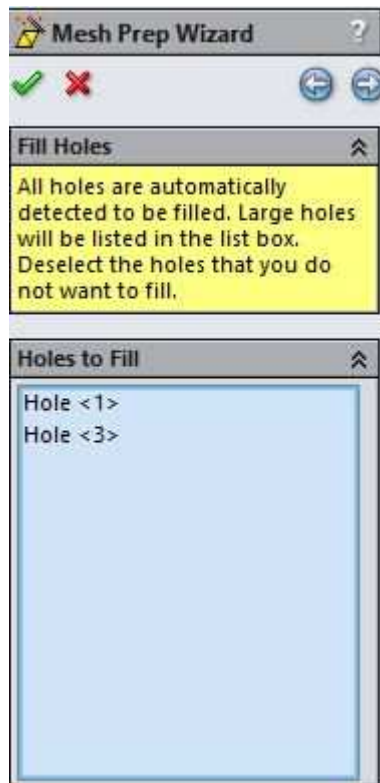
Μπορεί οπτικά το αποτέλεσμα να μην είναι εμφανές αλλά με μία προσεκτική ματιά και με αρκετή μεγέθυνση του μοντέλου φαίνονται μικρές διαφορές οι οποίες θα οδηγήσουν σε καλύτερη επιφάνεια.

Προχωρώντας στη διαδικασία βήμα βήμα μας δίνεται η δυνατότητα να κλείσουμε όλες τις τρύπες που υπάρχουν στο πλέγμα . Εφόσον στο πραγματικό μοντέλο τα σημεία που φαίνονται στη παρακάτω φωτογραφία



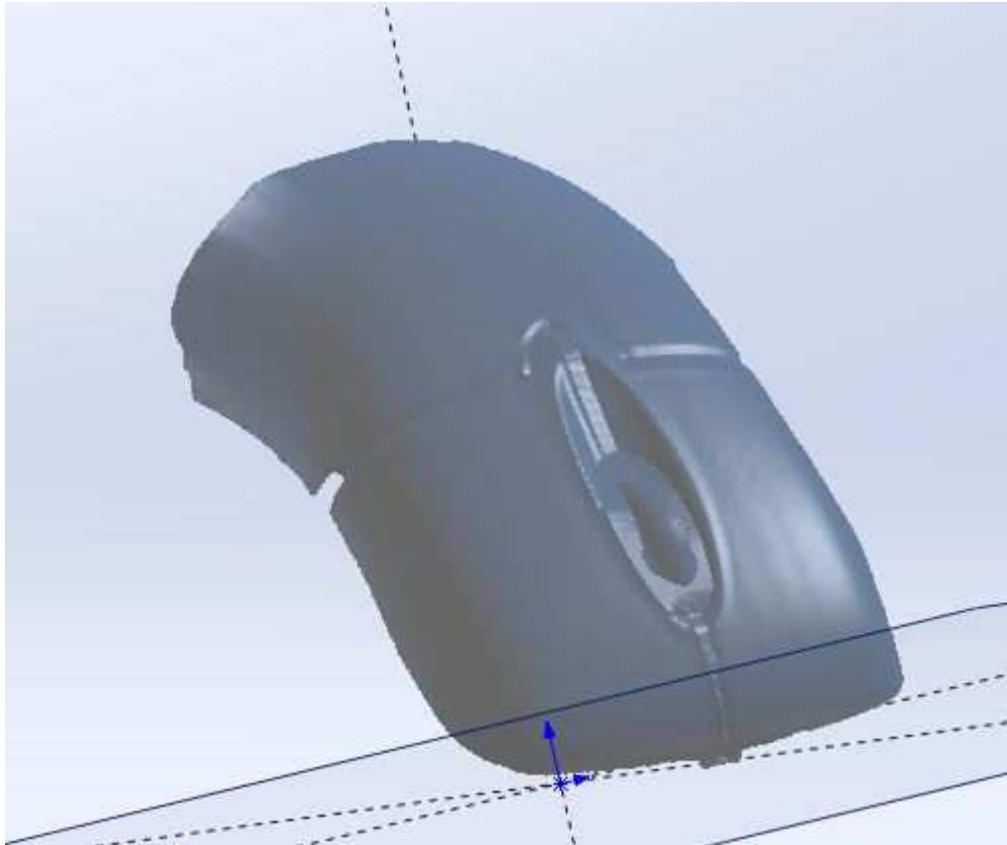
Εικόνα 5.9.1.17 Αυτόματη εύρεση κενών 1

με πράσινο περίγραμμα ουσιαστικά δεν υπάρχουν ως τόσο μεγάλα κενά, σφραγίζονται.



Εικόνα 5.9.1.18 Αυτόματη εύρεση κενών 2

Ολοκληρώνοντας και την εντολή αυτή και φτάνοντας στο τέλος του Mesh prep wizard το πλέγμα μας έχει την τελική αυτή μορφή:



Εικόνα 5.9.1.18 Τρύπες κλεισμένες

Ενώ πριν το κλείσιμο της καρτέλας

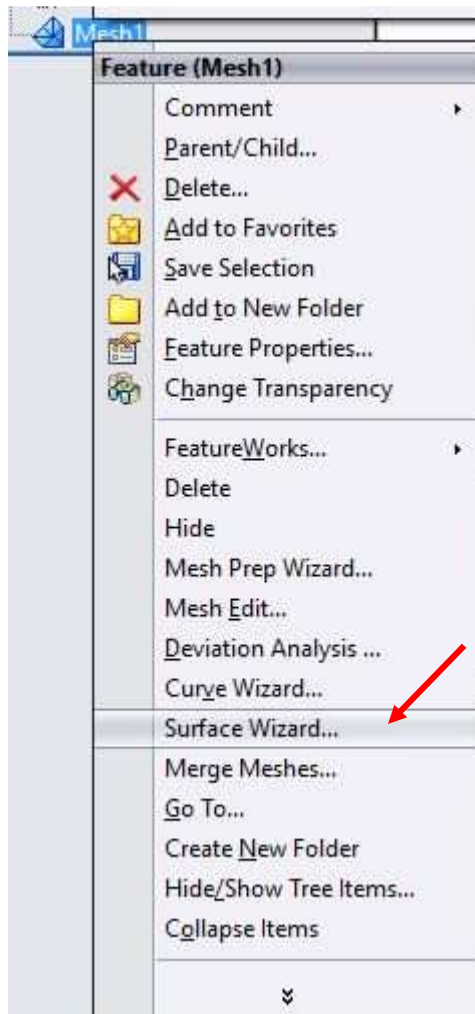


μας δίνετε η δυνατότητα να ανοίξουμε αμέσως την καρτέλα του Surface wizard το οποίο μας δημιουργεί στο τελευταίο βήμα του μία ομοιόμορφη σταθερή (solid) επιφάνεια.

5.9.2 Δημιουργία επιφάνειας

Στο επόμενο βήμα και ενώ έχει πρώτα ολοκληρωθεί η επεξεργασία του πλέγματος, πρέπει να δημιουργηθεί η επιφάνεια του ποντικιού βασισμένη στο πλέγμα.

Στο πρώτο βήμα ενεργοποιείτε την καρτέλα του **Surface wizard** .



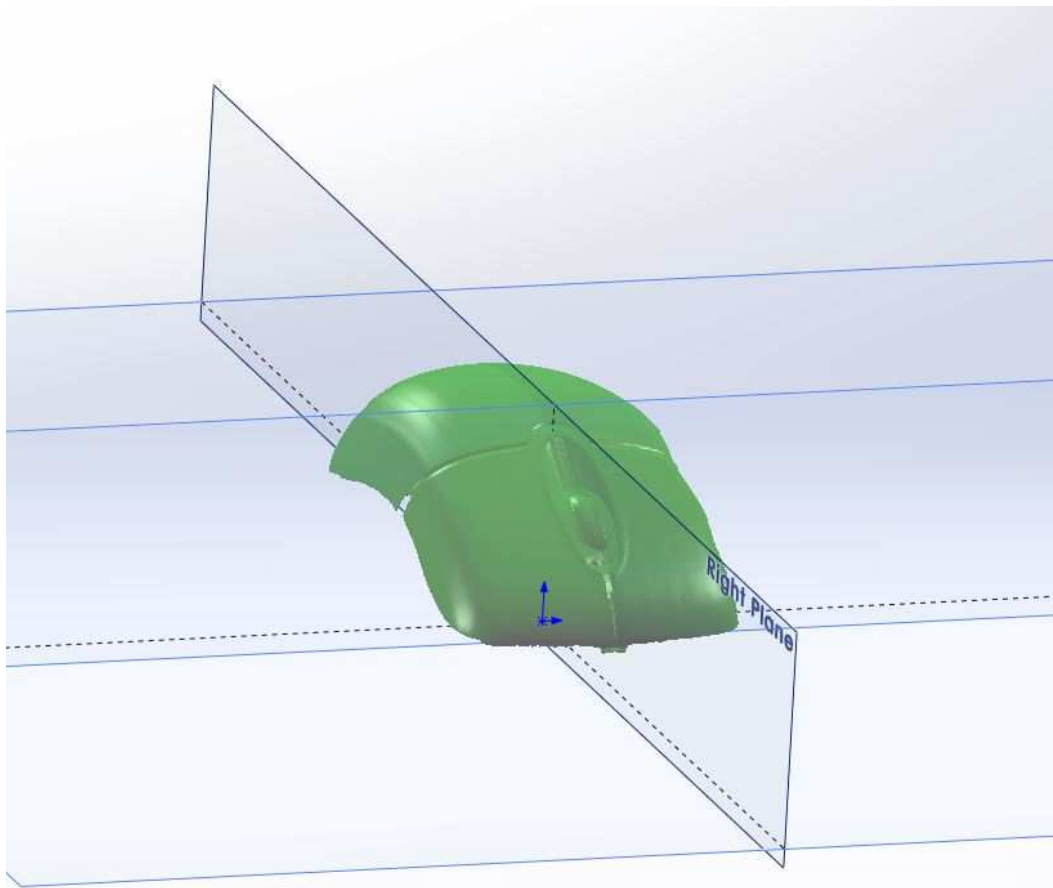
Εικόνα 5.9.2.1 Ενεργοποίηση Surface wizard

Αμέσως μετά εμφανίζεται η πρώτη εντολή του Surface wizard η οποία μας δίνει την επιλογή να επιλέξουμε το πλέγμα (mesh) το οποίο θέλουμε να τροποποιήσουμε.



Εικόνα 5.9.2.2 Καρτέλα επιλογής πλέγματος

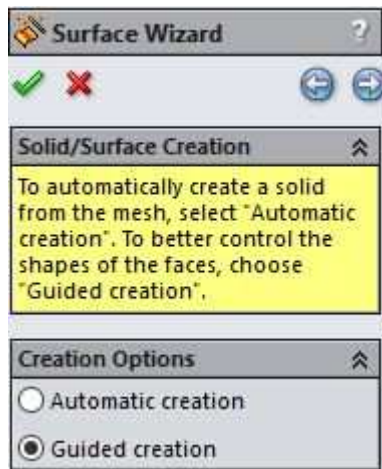
Παράλληλα εμφανίζεται με πράσινο χρώμα το πλέγμα το οποίο αναγράφεται στην καρτέλα.



Εικόνα 5.9.2.3 Πλέγμα προς δημιουργία επιφάνειας

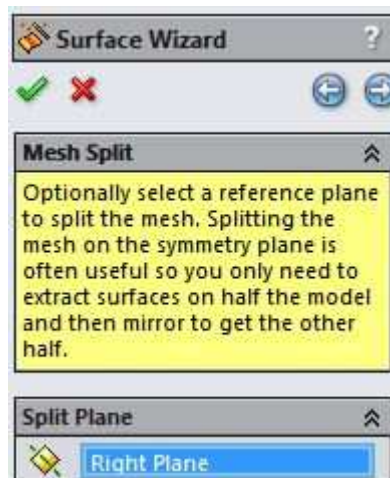
Προχωρώντας στις καρτέλες της εντολής **Surface wizard** το Solidworks παρέχει την επιλογή αυτόματης ή χειροκίνητης δημιουργίας επιφανειών.

Γίνεται επιλογή της χειροκίνητης δημιουργίας επιφανειών εφόσον έχουν οριστεί και τα αντίστοιχα plane.

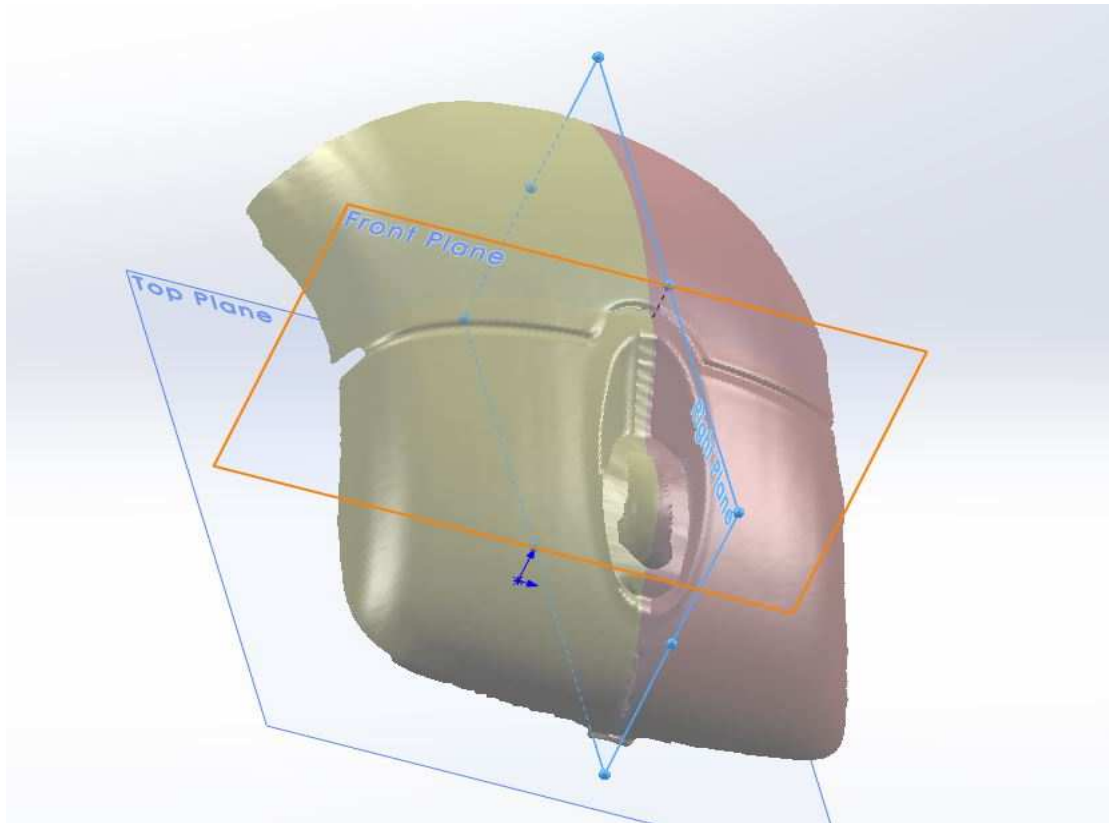


Εικόνα 5.9.2.4 Αυτόματη δημιουργία επιφανειών

Στο επόμενο βήμα πρέπει να προσδιορίσουμε ποια νοητή επιφάνεια θέλουμε να χωρίζει το μοντέλο μας.



Εικόνα 5.9.2.5 Επιλογή Plane



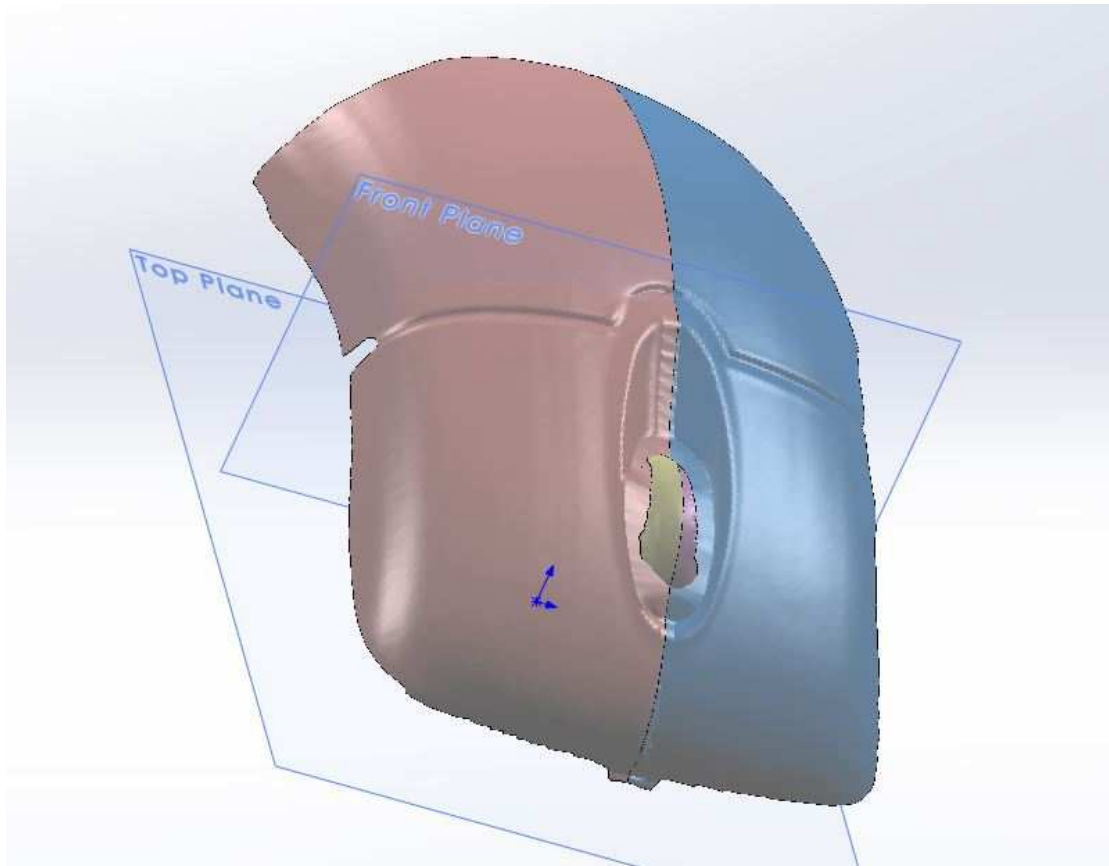
Εικόνα 5.9.2.6 Model split

Εφόσον γίνουν αποδεκτές οι τροποποιήσεις αυτές οδηγούμαστε στη καρτέλα.



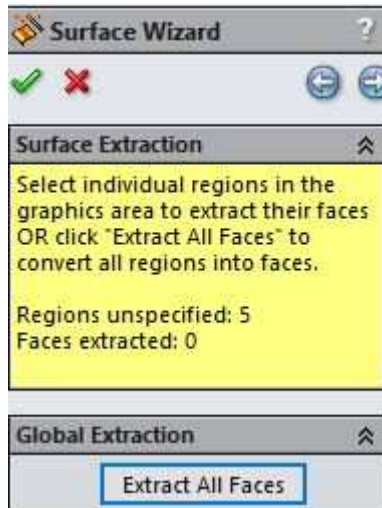
Εικόνα 5.9.2.7 Face identification

Το μοντέλο πλέον έχει αυτή τη μορφή λόγω της επιλογής χωρισμού από 2 επιφάνειες με κέντρο συμμετρίας το **Right plane** .



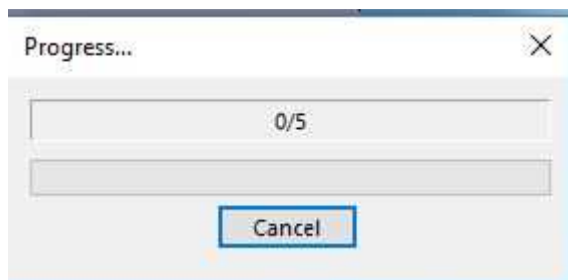
Εικόνα 5.9.2.8 Model split in two

Σε ένα από τα τελευταία βήματα του Surface wizard και εφόσον η διαδικασία ακολουθήθηκε πιστά, γίνεται «εξαγωγή» των επιφανειών τις οποίες δημιουργεί αυτόματα το Solidworks.



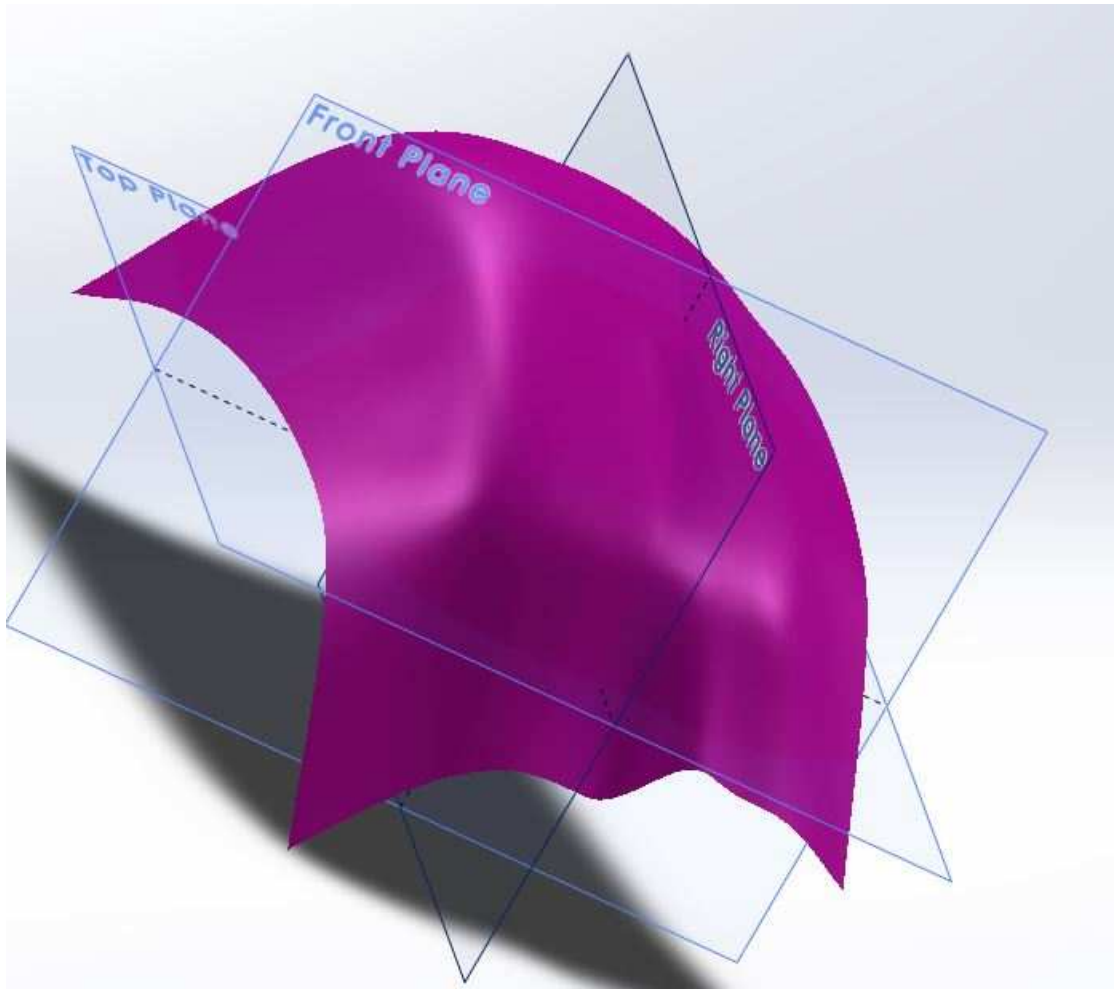
Εικόνα 5.9.2.9 Surface extraction

Επιλέγουμε την εντολή **Extract all faces** και το πρόγραμμα αναγνωρίζει 5 επιφάνειες.

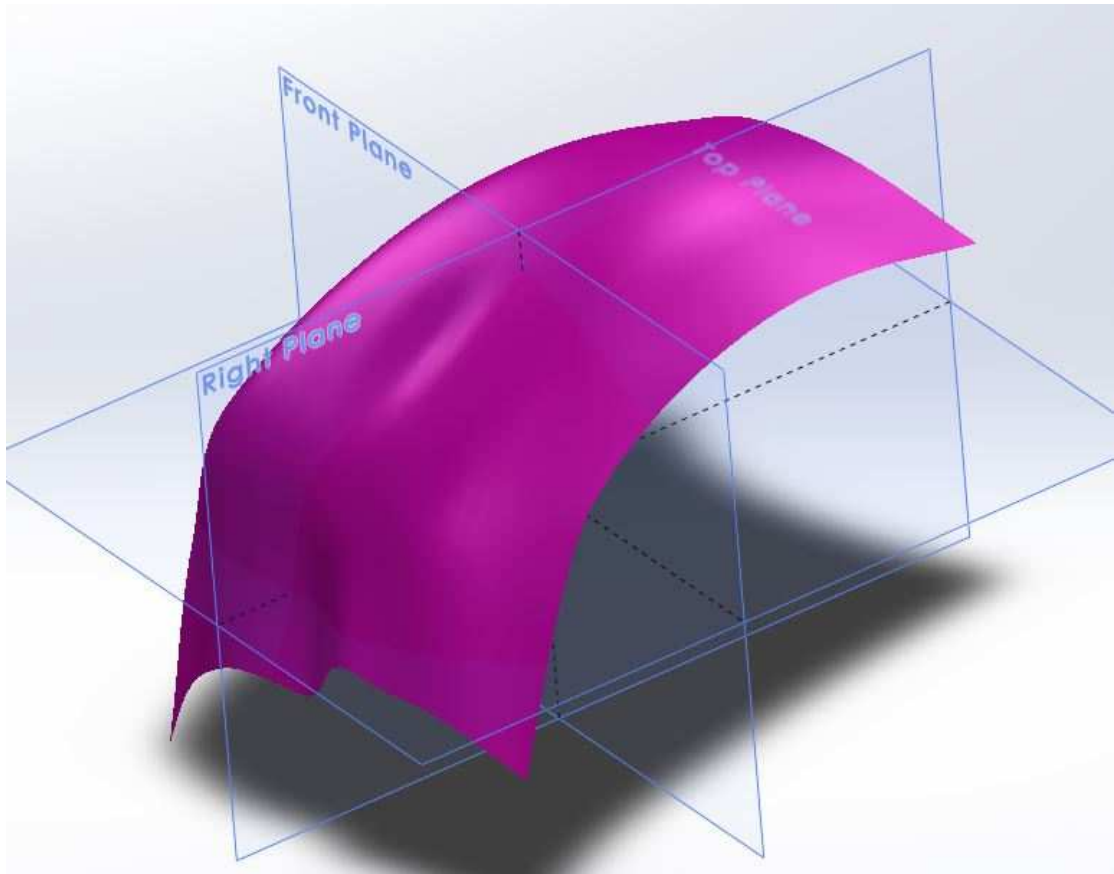


Εικόνα 5.9.2.10 Surfaces to be extracted

Το τελικό αποτέλεσμα μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας της σταθερής (solid) επιφάνειας είναι:



Εικόνα 5.9.2.11 Finished surface 1



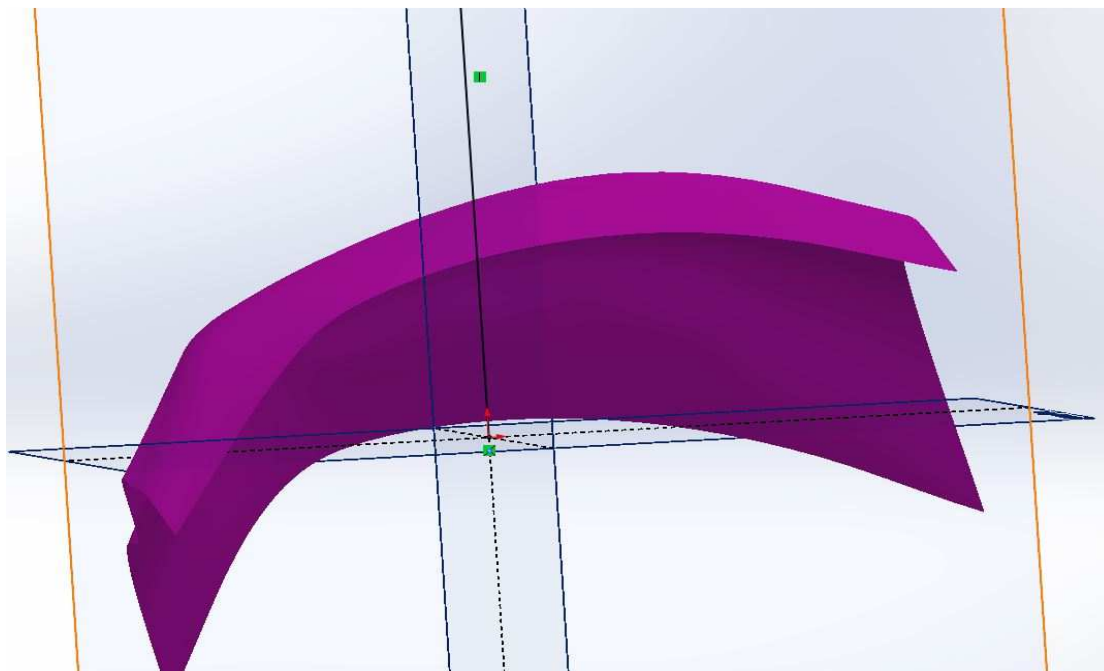
Εικόνα 5.9.2.10 Finished surface 2

5.9.3 Μορφοποίηση μοντέλου

Έχοντας πλέον ολοκληρώσει τις διαδικασίες επεξεργασίας του πλέγματος (mesh prep wizard) και έχοντας δημιουργήσει την solid επιφάνεια του μοντέλου μας (surface wizard) παρατηρείτε πως το αποτέλεσμα το οποίο εμφανίζεται (βλέπε εικόνα 5.9.2.11, 5.9.2.12) δεν είναι το αναμενόμενο. Η επιφάνεια που δημιουργήθηκε περιέχει πολλές ανομοιόμορφες ακμές, καμπύλες σε τμήματα του μοντέλου που δεν υπάρχουν και κάλλιστα θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν θυμίζει ποντίκι υπολογιστή.

Για το λόγο αυτό θα πρέπει η επιφάνεια αυτή να τροποποιηθεί χρησιμοποιώντας εντολές όπως **3D sketch**, **Surface trim**, **planes**, **Surface Fill** έτσι ώστε ολοκληρώνοντας τις τροποποιήσεις να παρουσιαστεί ένα solid ποντίκι.

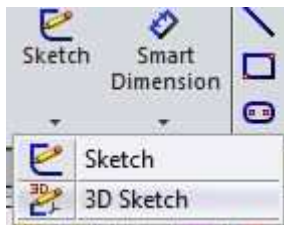
Για να μπορέσουμε λοιπόν να αφαιρέσουμε όλα τα παραπάνω τμήματα υλικού τα οποία υπάρχουν θα πρέπει να ακολουθηθεί μία διαδικασία η οποία περιλαμβάνει για αρχή την δημιουργία ενός 3D Sketch στο κέντρο συμμετρίας του ποντικιού³.



Εικόνα 5.9.3.1 3D Sketch

³ Στην διαδικασία επεξεργασίας του πλέγματος (mesh prep wizard) είχαμε τοποθετήσει το μοντέλο μας στο κέντρο με βάση τα τρία Plane μέσω της εντολής numeric input της καρτέλας

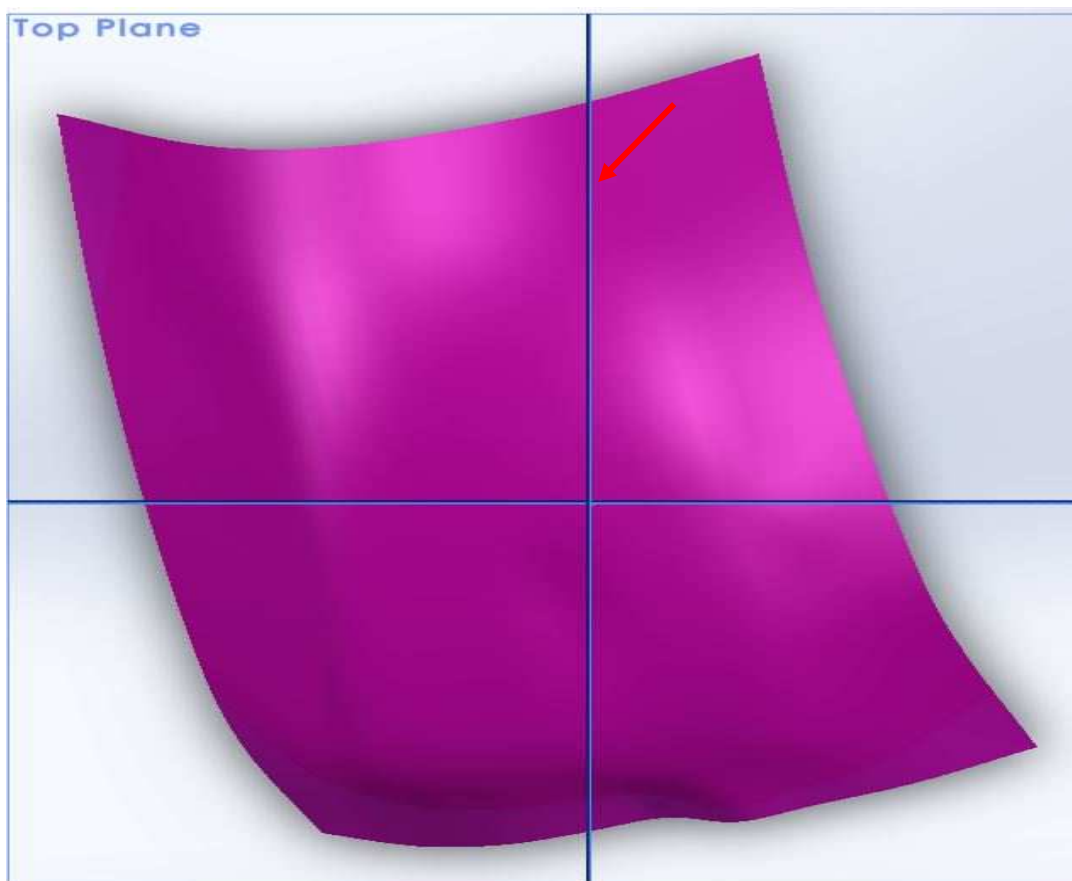
Γίνεται επιλογή της εντολής Sketch → 3D Sketch .



Εικόνα 5.9.3.2 3D Sketch εντολή

Ορίζεται ως αρχή το κέντρο συμμετρίας και προεκτείνεται η γραμμή χωρίς περιορισμούς.

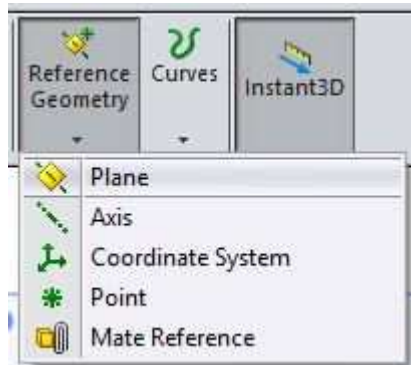
Παρατηρώντας το μοντέλο από την άνω όψη είναι εμφανές ότι δεν μπορεί να τοποθετηθεί παράλληλο Plane για να μπορέσει να αφαιρεθεί η επιφάνεια που περισσεύει καθώς δεν θα κάλυπτε ολόκληρο το μοντέλο μας.



Εικόνα 5.9.3.3 Άνω όψη

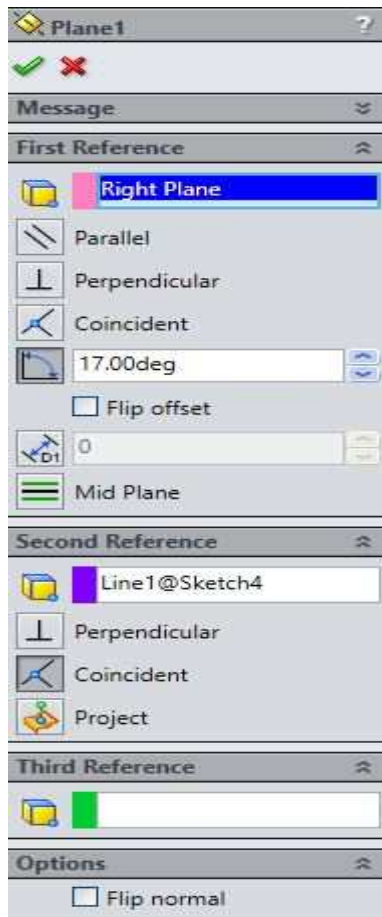
Συνεπώς δημιουργείτε ένα **Plane** το οποίο να είναι παράλληλο με τα πλαϊνά τοιχώματα του ποντικιού.

Έχοντας ως κέντρο αναφοράς το ευθύγραμμο τμήμα του προηγούμενου βήματος εκτελείτε η εντολή **Reference geometry** → **Plane**.



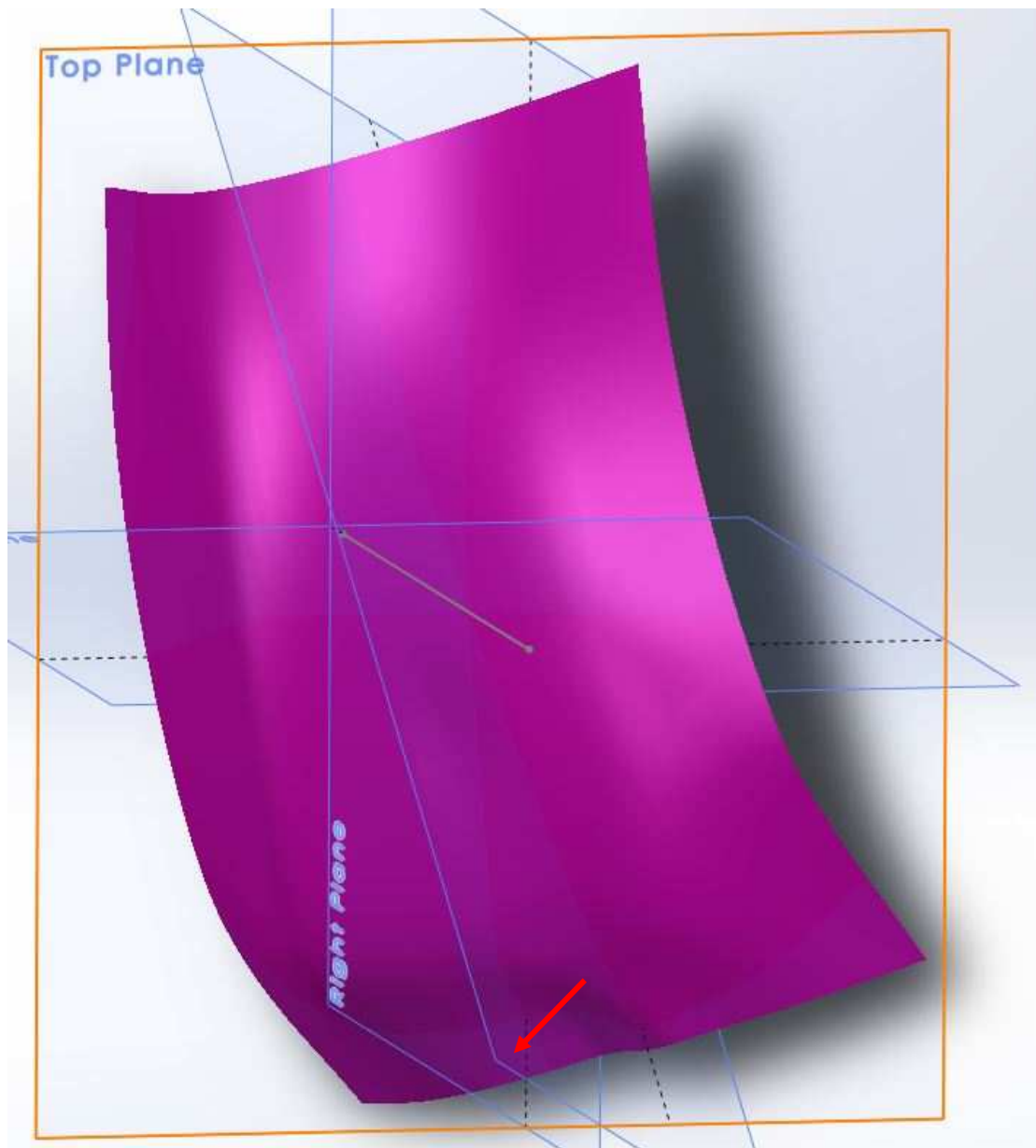
Εικόνα 5.9.3.4 Δημιουργία plane

Πραγματοποιείτε οπτικός έλεγχος καθώς δεν υπάρχει άλλος τρόπος επιβεβαίωσης της παραλληλίας και ορίζονται οι εξής :



Εικόνα 5.9.3.5 Ρυθμίσεις plane

Το αποτέλεσμα των ενεργειών βρίσκεται στην εικόνα 5.9.3.6(βλέπε παρακάτω).

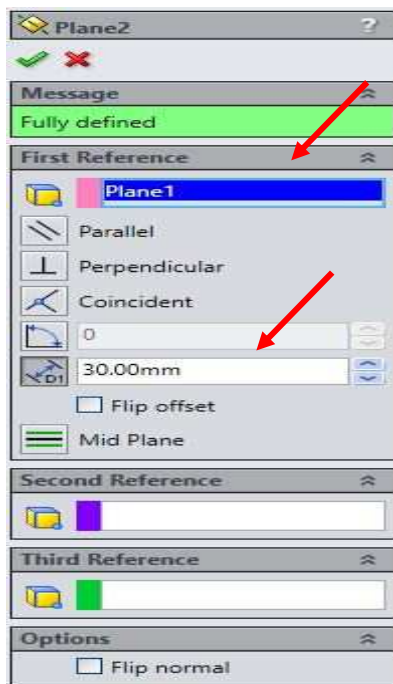


Εικόνα 5.9.3.6 First new plane

Προχωρώντας δημιουργείτε ένα plane ακόμα, παράλληλο με αυτό του προηγούμενου βήματος.

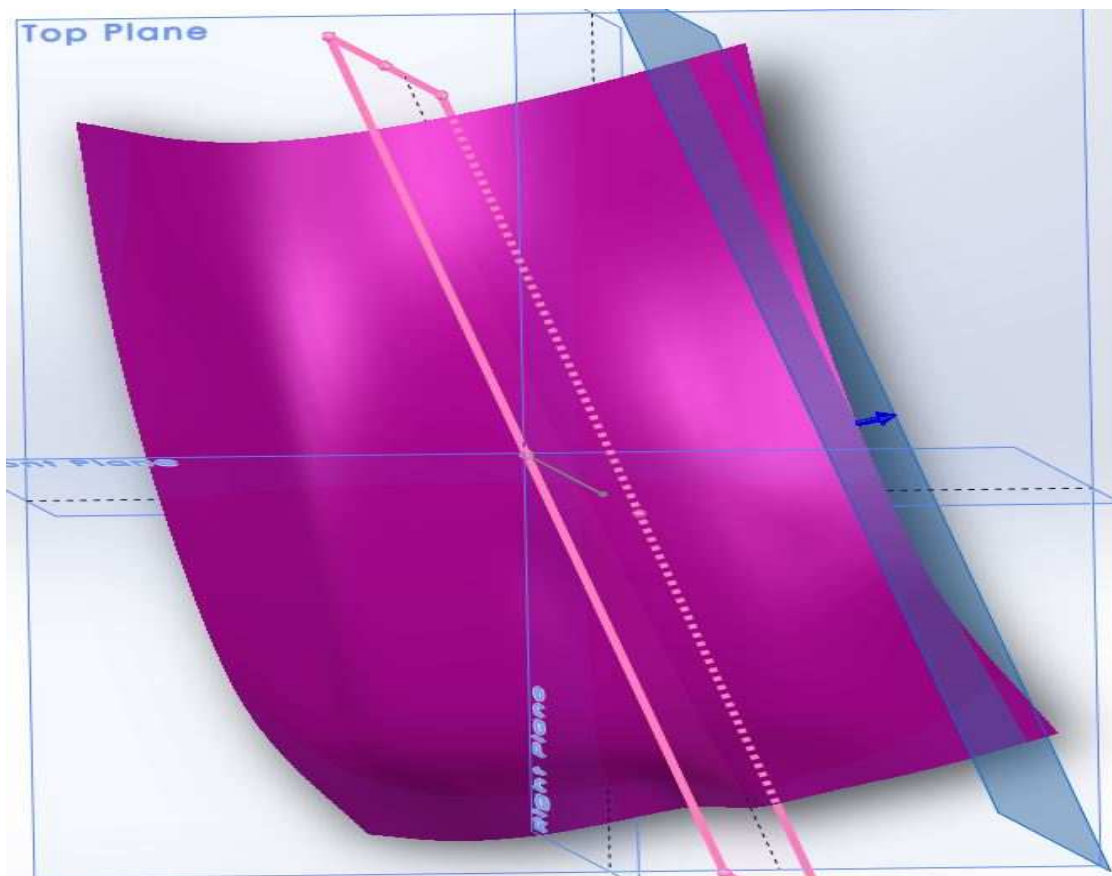
Παρομοίως **Reference geometry** → **Plane**

Ορίζονται οι ρυθμίσεις όπως απόσταση και αναφορά.



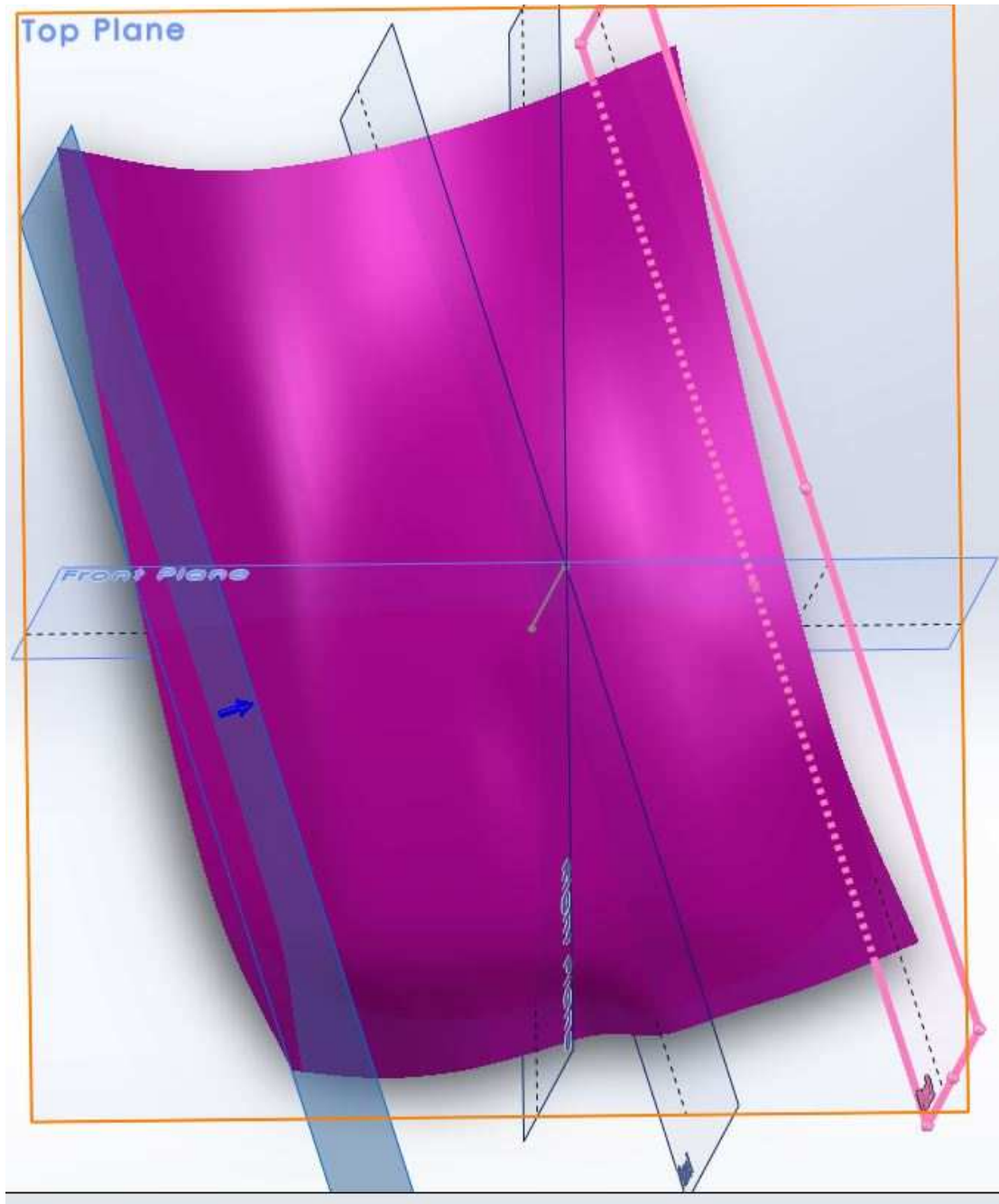
Εικόνα 5.9.3.6 Ρυθμίσεις δεύτερου Plane

Δημιουργώντας το παρακάτω σχήμα.



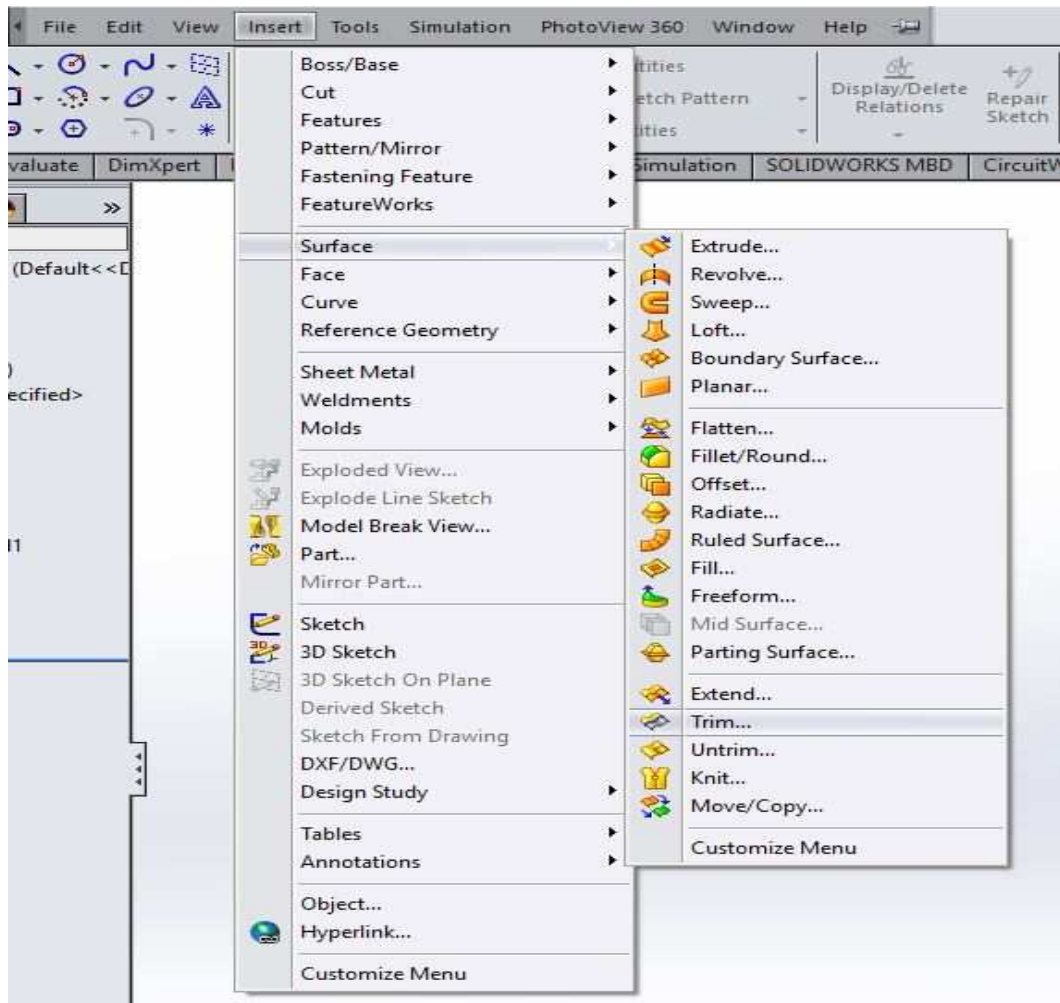
Εικόνα 5.9.3.7 Plane 2o

Παίρνοντας ως επιφάνεια αναφοράς το δεύτερο plane που σχεδιάστηκε και ορίζοντας ως απόσταση την διπλάσια από αυτή που είχε οριστεί για το μεσαίο plane δημιουργείτε αντίστοιχα και το τρίτο plane από την αντίθετη όψη του ποντικιού .



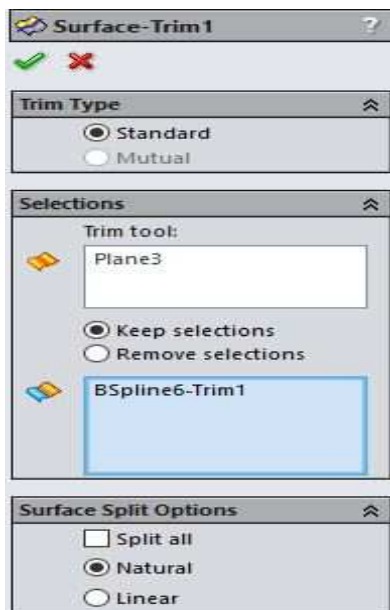
Εικόνα 5.9.3.8 3ο Plane

Στο επόμενο βήμα, όσα τμήματα προεξέχουν από τα νοητά όρια που έχουν ορίσει τα plane θα αφαιρεθούν. Συνεπώς επιλέγουμε την εντολή **Insert** → **Surface** → **Trim**.

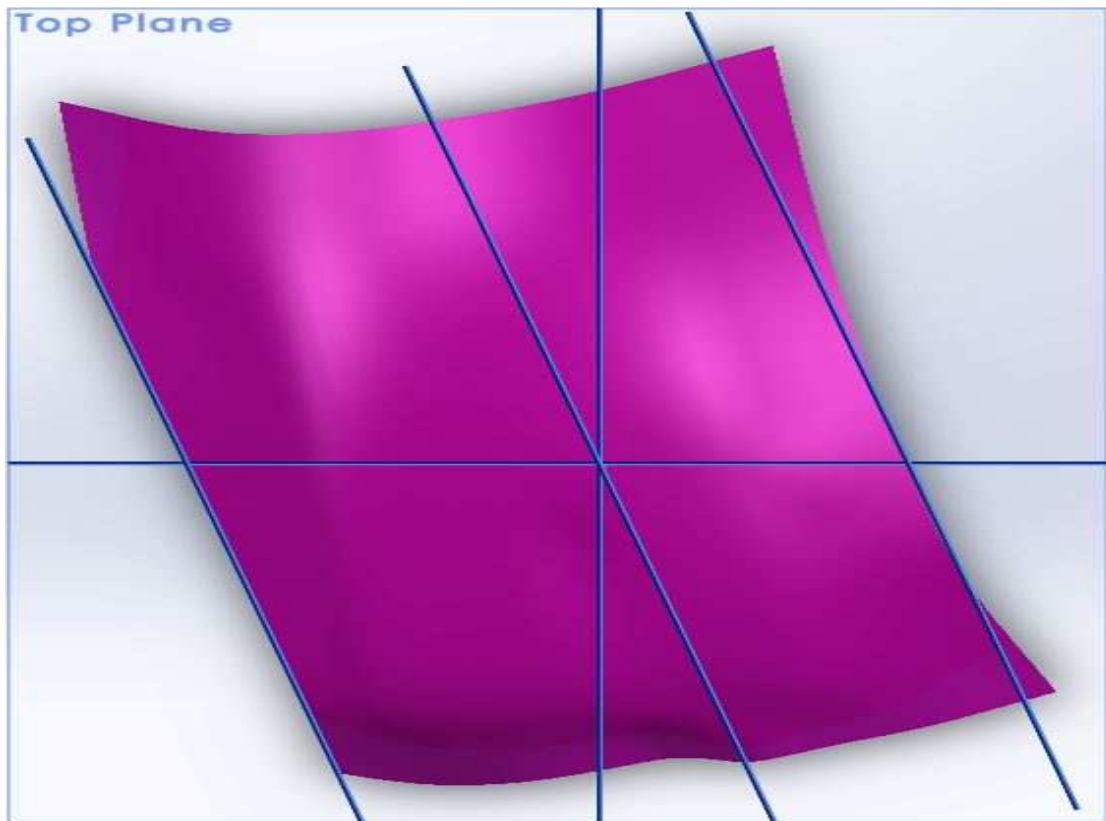


Εικόνα 5.9.3.9 Εντολή Surface trim

Επιλέγοντας την εντολή αυτή ανοίγει η καρτέλα της εντολής στην οποία ορίζεται με βάση ποιο plane θα χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για να αφαιρεθεί υλικό.



Εικόνα 5.9.3.10 Ρυθμίσεις εντολής Surface-Trim

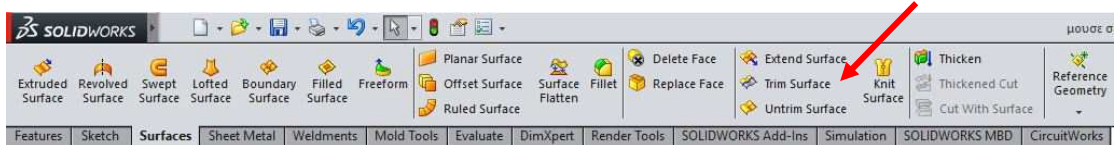


Εικόνα 5.9.3.11 Αποτέλεσμα εντολής Surface-Trim

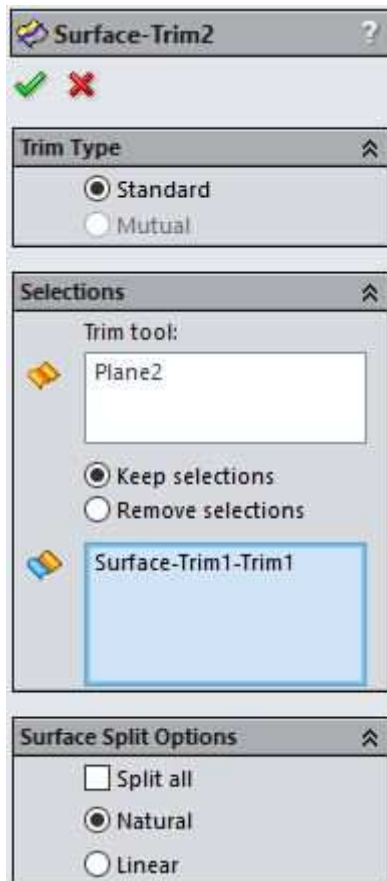
Με το πέρας της εντολής είναι εμφανές στην αριστερή μεριά του ποντικού ότι έχει αφαιρεθεί το περισσευούμενο υλικό.

Στο επόμενο βήμα πρέπει να αφαιρέτε το υλικό που περισσεύει από την δεξιά πλευρά του ποντικιού.

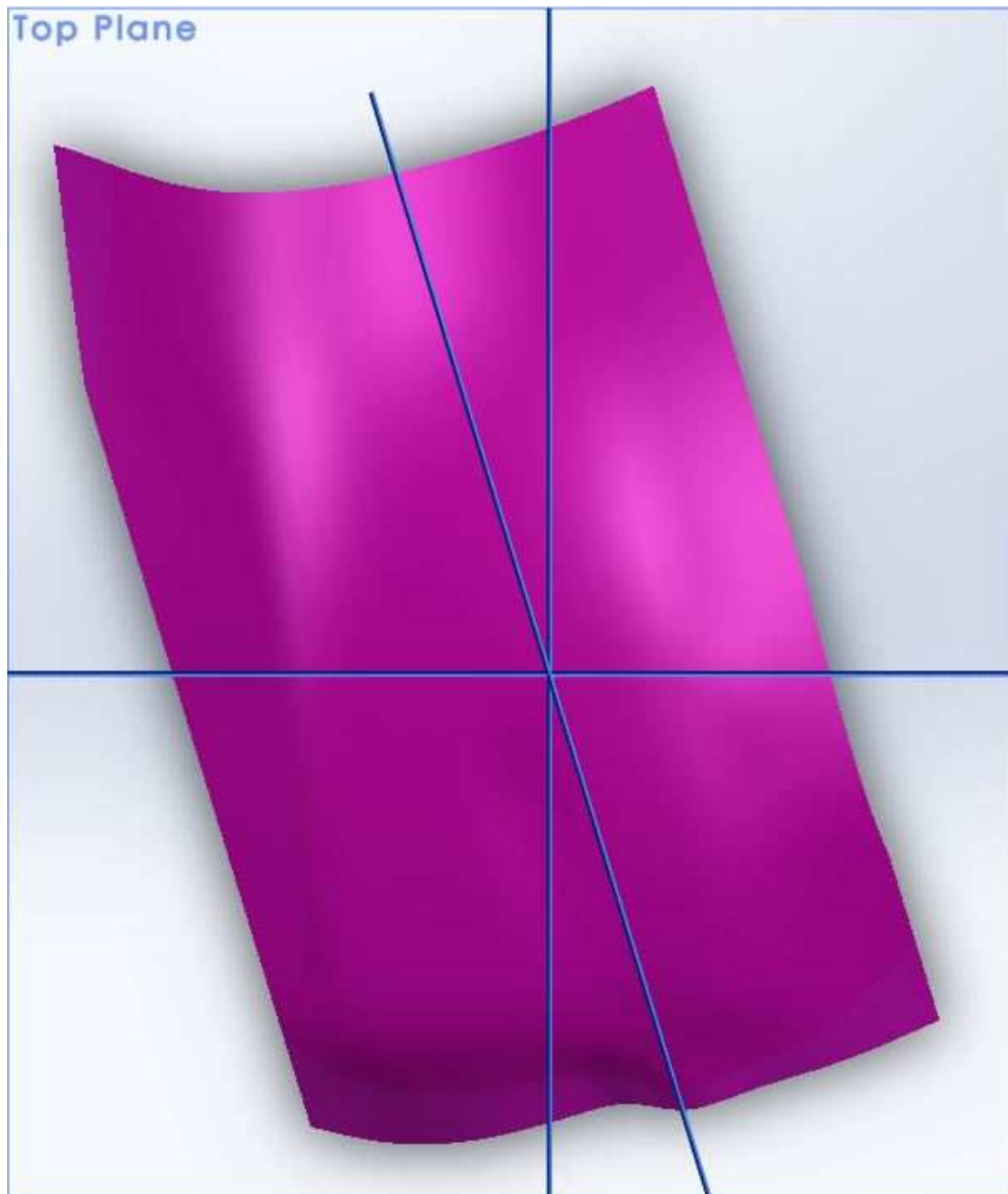
Ακολουθούμε τις ίδιες ακριβώς εντολές **Surface** → **Trim** .



Εικόνα 5.9.3.12 Καρτέλα Surface trim



Εικόνα 5.9.3.13 Surface trim 2

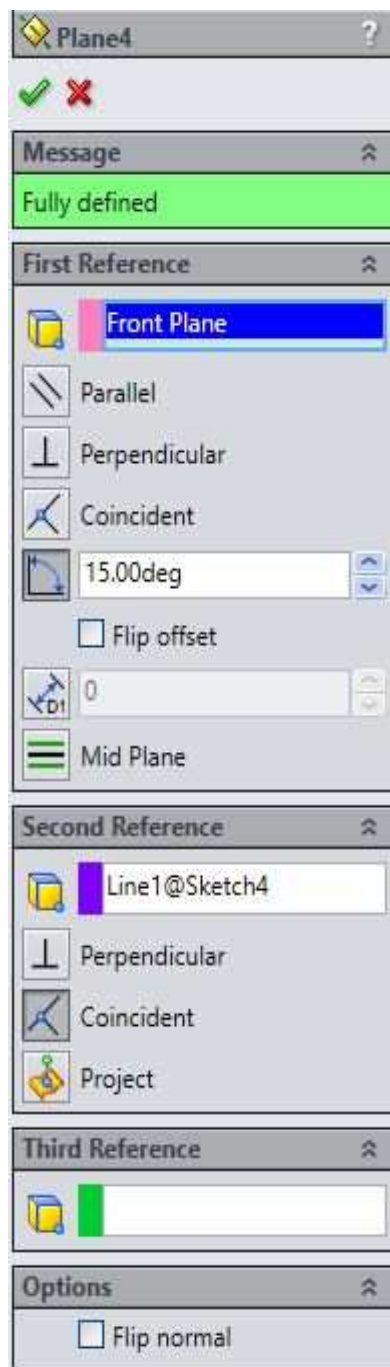


Εικόνα 5.9.3.14 Αποτελέσματα Surface trim 2

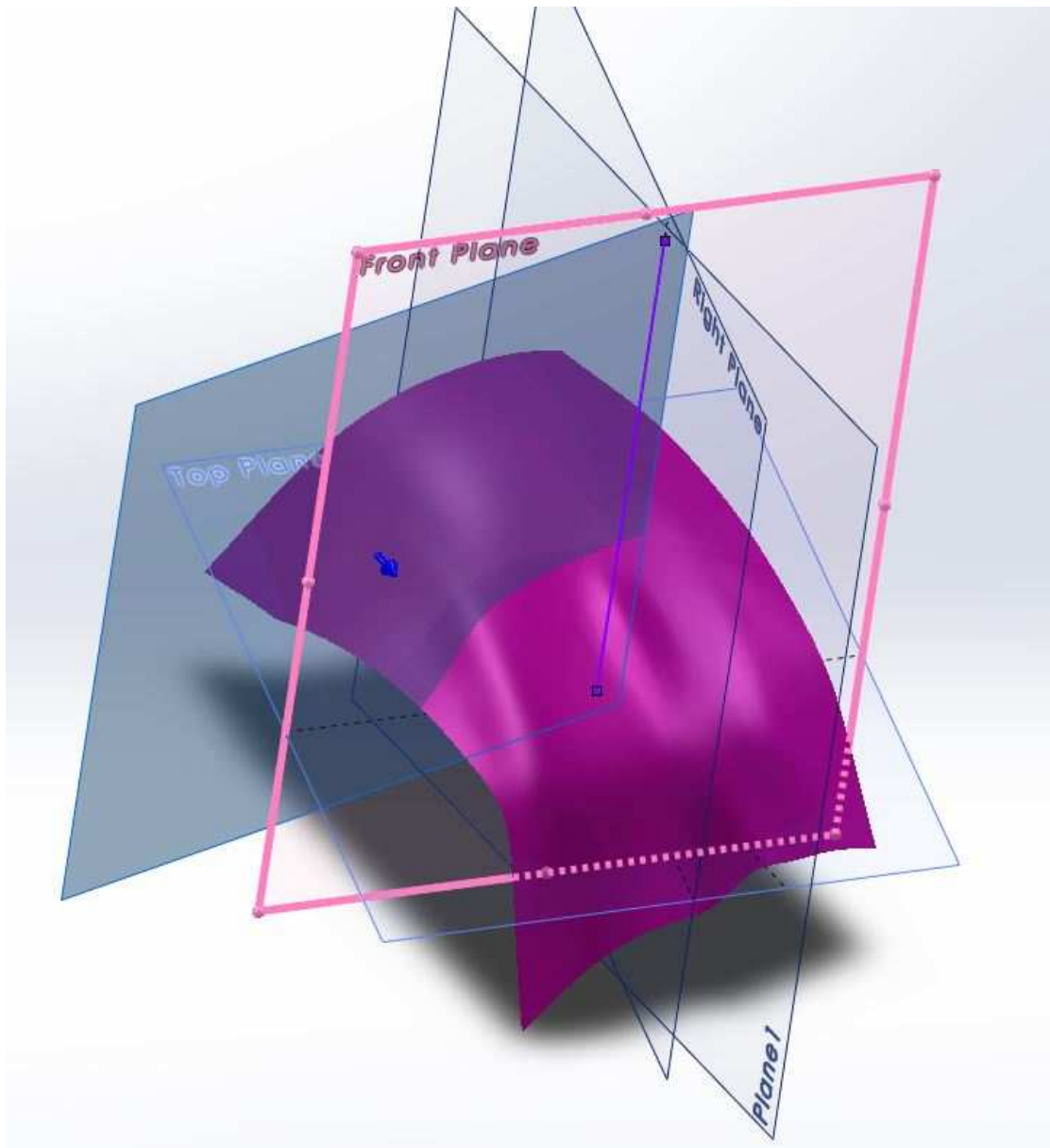
Ολοκληρώνοντας και την δεύτερη εντολή Surface trim έχοντας αφαιρέσει όλο το περισσευόμενο υλικό από τις δυο πλευρές του ποντικιού και προχωράμε στην κοπή της πίσω ανομοιόμορφης όψης του ποντικιού.

Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία για τις υπολειπόμενες μεριές του μοντέλου με περισσευόμενο υλικό.

Συνεπώς έχουμε:

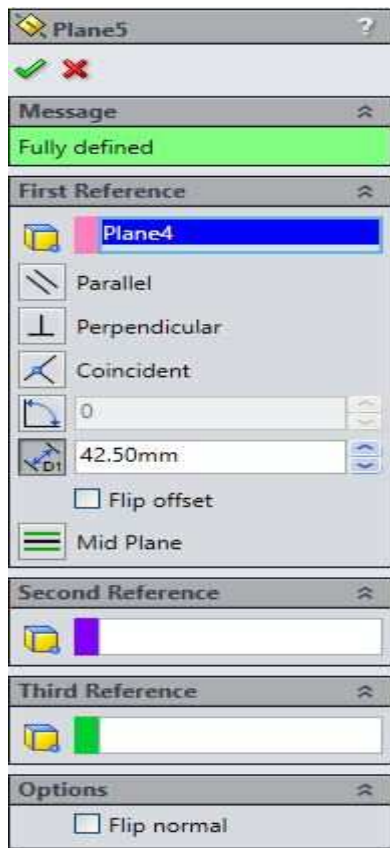


Εικόνα 5.9.3.15 Ρυθμίσεις plane πίσω όψης 1

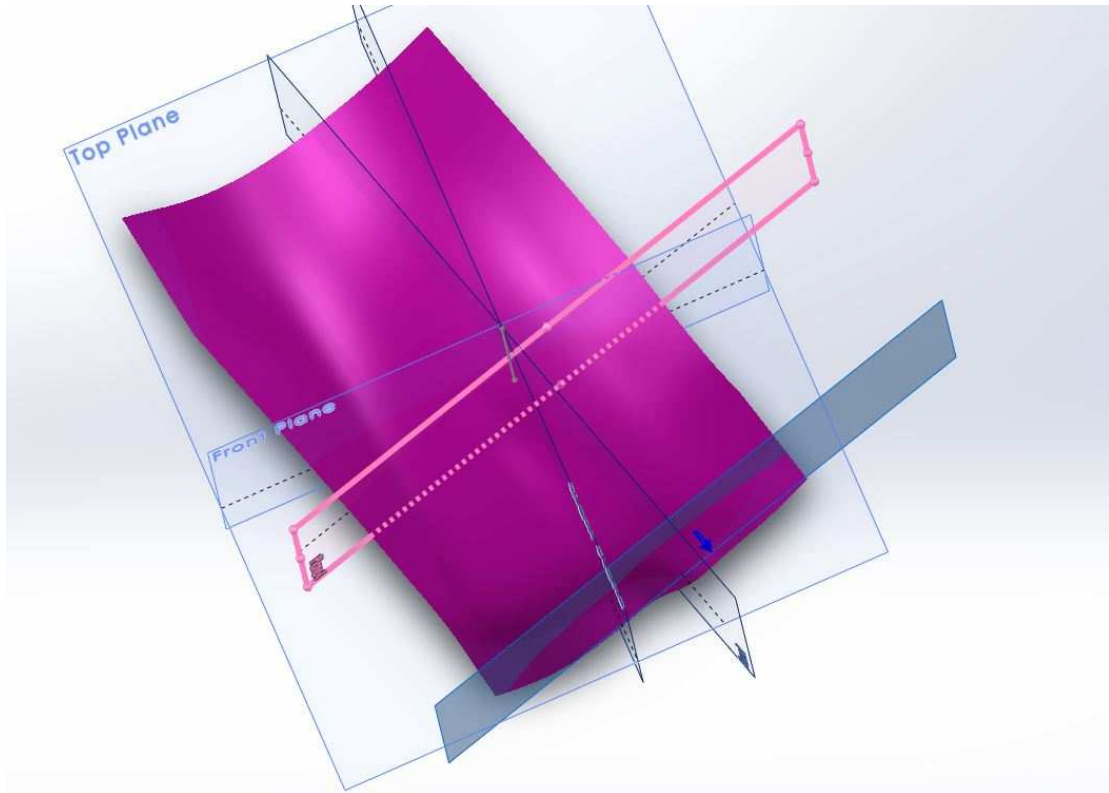


Εικόνα 5.9.3.16 Plane πίσω όψης 1

Στη συνέχεια δημιουργείτε μία παράλληλη επιφάνεια σε προκαθορισμένη απόσταση η οποία υπολογίζεται οπτικά.

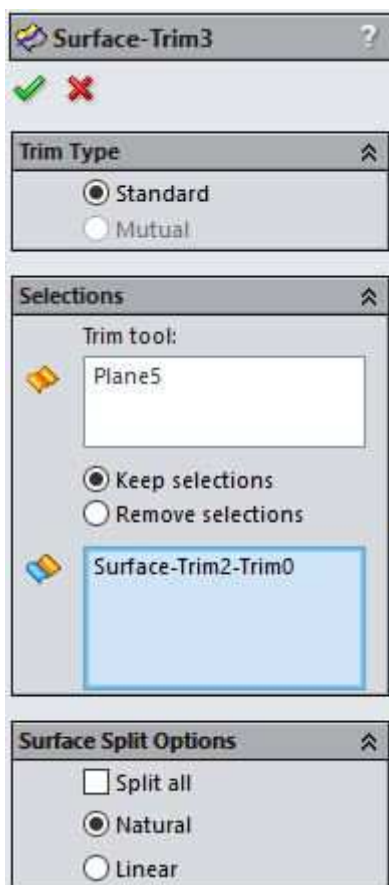


Εικόνα 5.9.3.17 Ρυθμίσεις Plane πίσω όψη



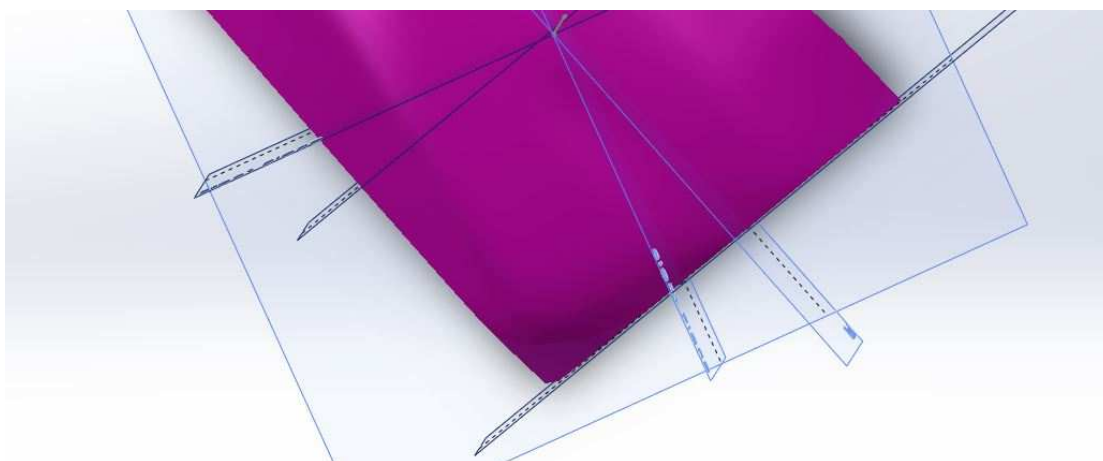
Εικόνα 5.9.3.18 Plane πίσω όψης

Δημιουργώντας το plane αυτό, επιλέγεται η εντολή **Surface trim** .



Εικόνα 5.9.3.19 Ρυθμίσεις κοπής πίσω όψης

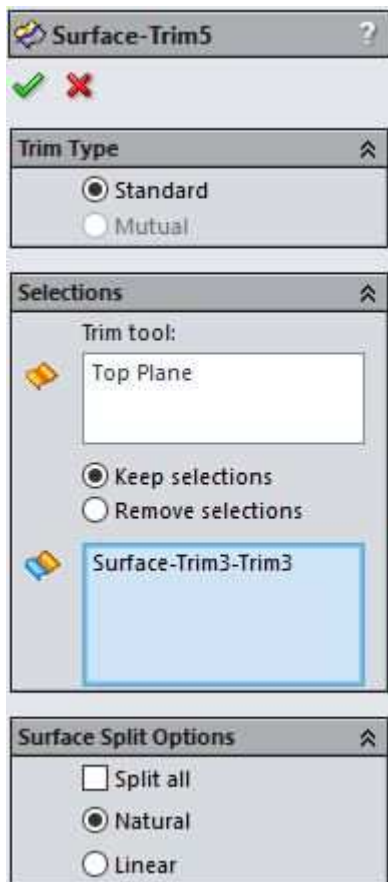
και το τελικό αποτέλεσμα μετά την αποδοχή των μεταβλητών είναι:



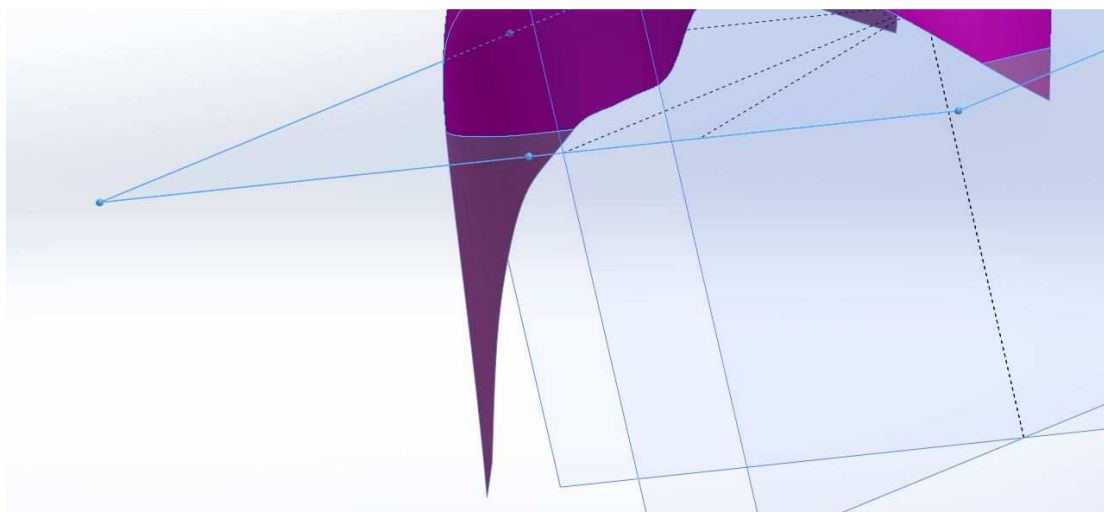
Εικόνα 5.9.3.20 Ολοκλήρωση Surface trim πίσω όψης

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας ως αναφορά το **Top Plane** εφαρμόζεται **Surface trim** στα τμήματα του ποντικιού τα οποία προεξέχουν προς τα κάτω.

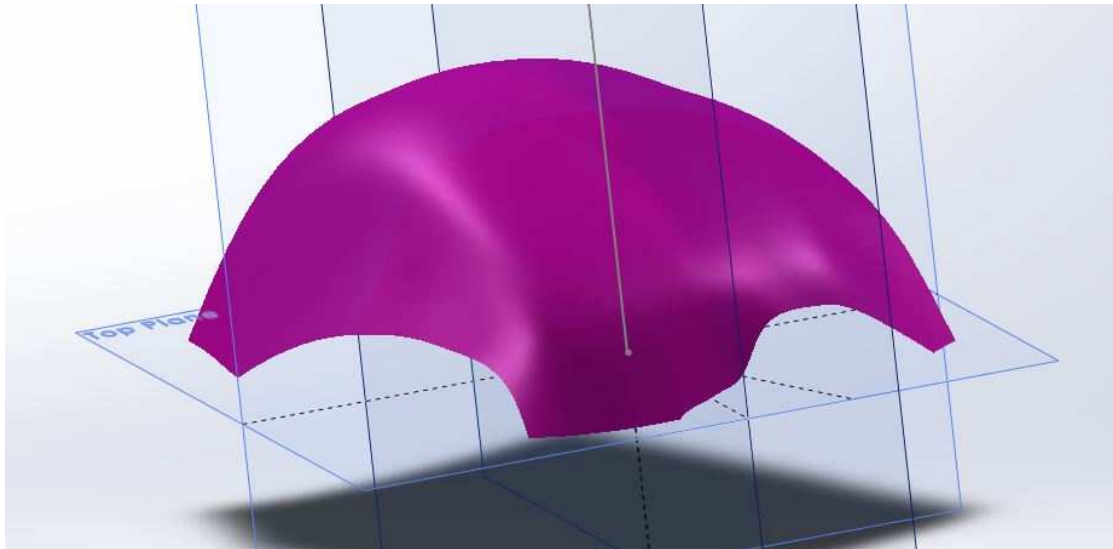
Οι ρυθμίσεις που πρέπει να ακολουθηθούν για να επιτευχθεί είναι οι εξής:



Εικόνα 5.9.3.21 Ρυθμίσεις κοπής με βάση το Top plane



Εικόνα 5.9.3.22 Plane στο χώρο πριν την κοπή

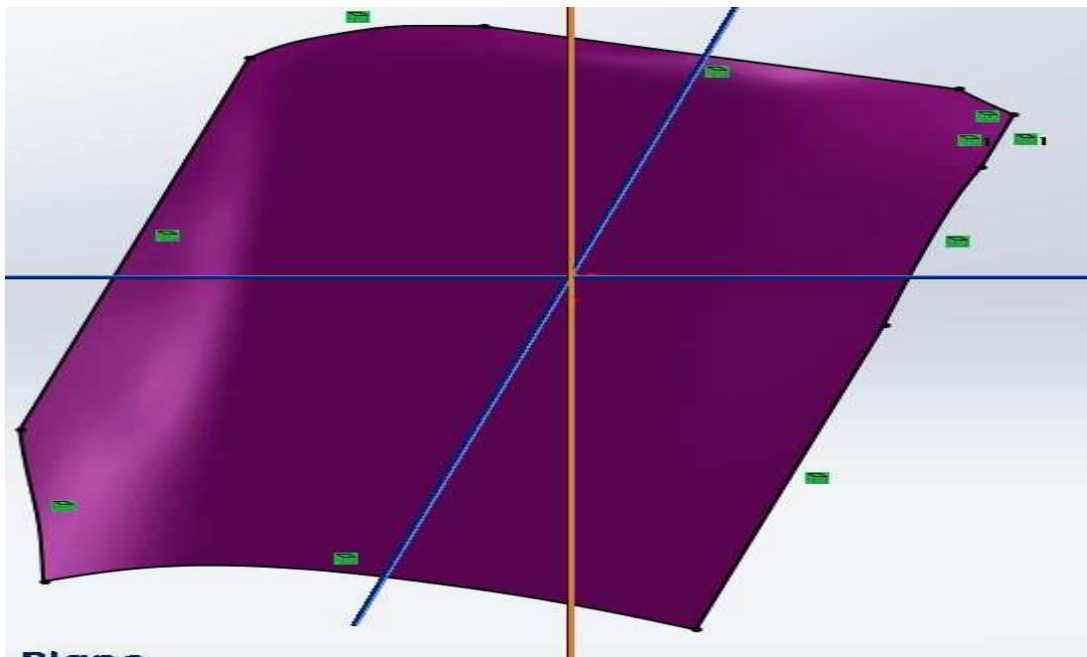


Εικόνα 5.9.3.22 Κοπή ποδιών

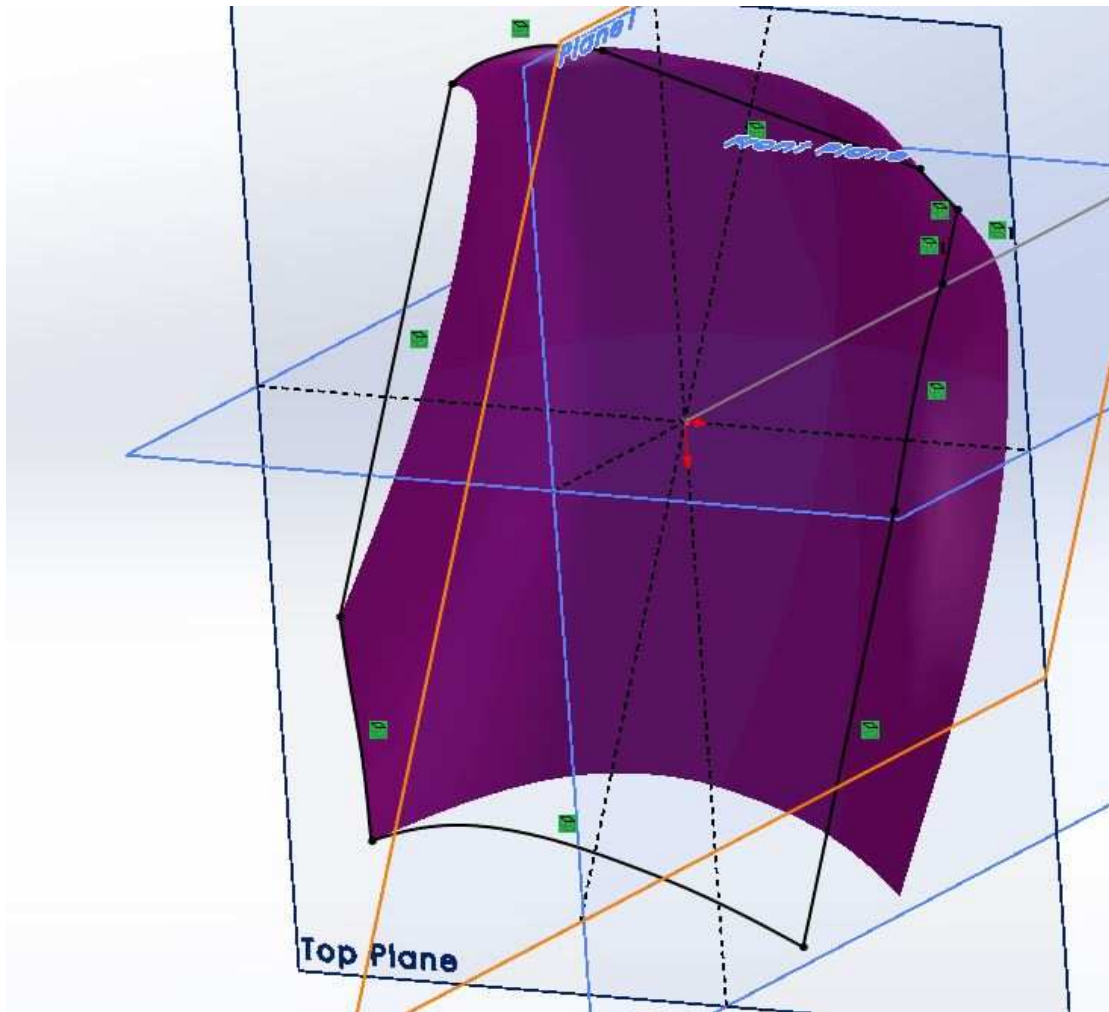
Πλέον έχουν κατεργαστεί και αφαιρεθεί όλα τα τμήματα της επιφάνειας του ποντικιού τα οποία ήταν περιττά με την βοήθεια των **Plane** και του **Surface trim**.

Προχωρώντας, δημιουργούνται οι επιφάνειες εκείνες που θα οδηγήσουν στο τελικό στάδιο, σε ένα solid ποντίκι.

Για το λόγο αυτό σχεδιάζεται στην κάτω μεριά του ποντικιού με την χρήση του 3d sketch το περίγραμμα της επιφάνειας που απεικονίζεται στην οθόνη μας.

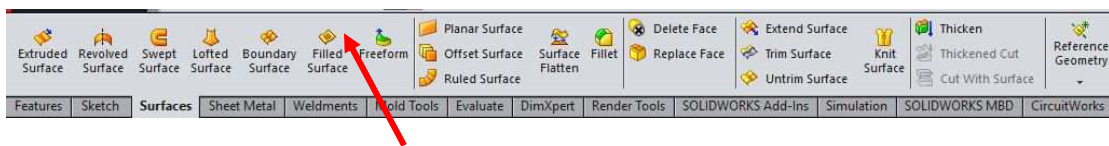


Εικόνα 5.9.3.23 3D Sketch bottom view



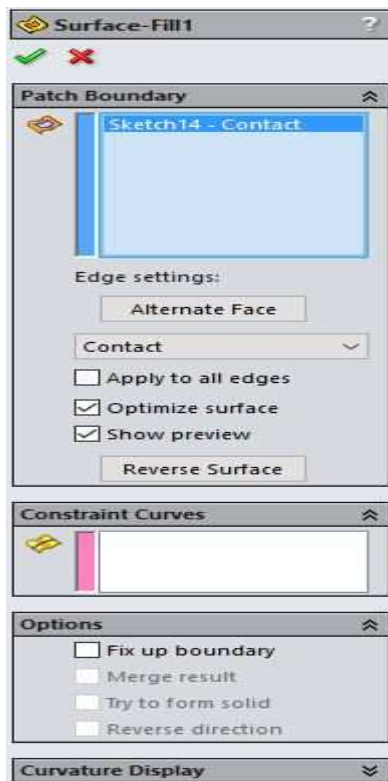
Εικόνα 5.9.3.24 3D Sketch bottom view with angle

Στη συνέχεια επιλέγεται η εντολή **Surface fill** από την ribbon Surface.



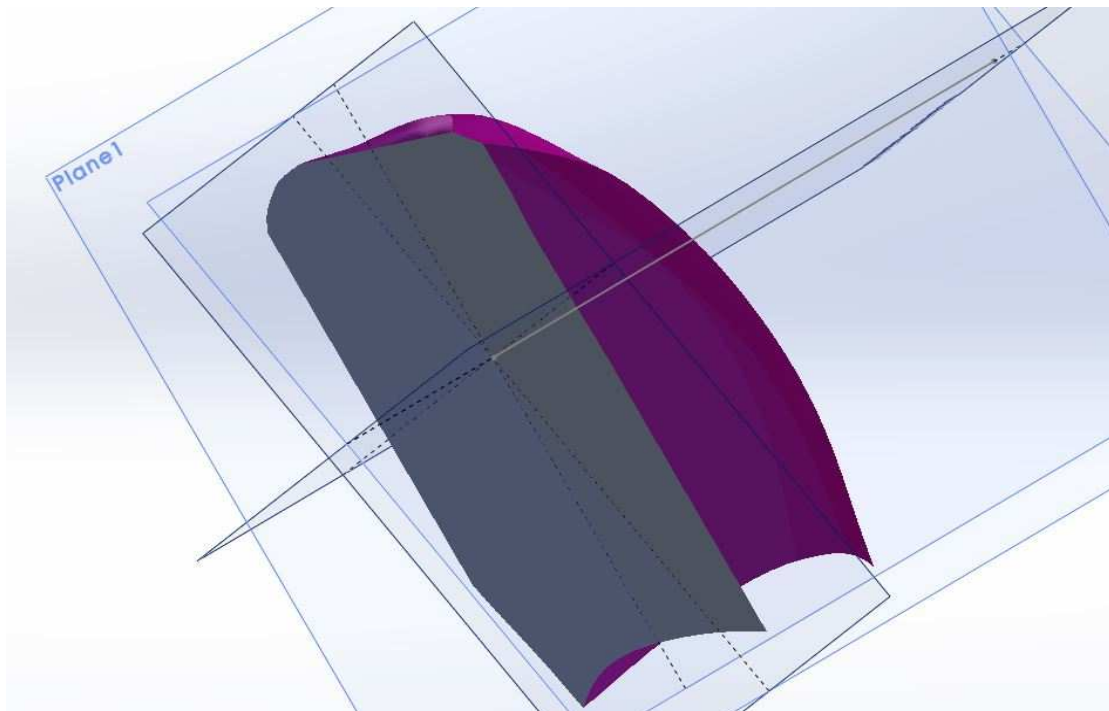
Εικόνα 5.9.3.25 Surface fill order

Ανοίγει η καρτέλα.



Εικόνα 5.9.3.26 Ρυθμίσεις Surface fill

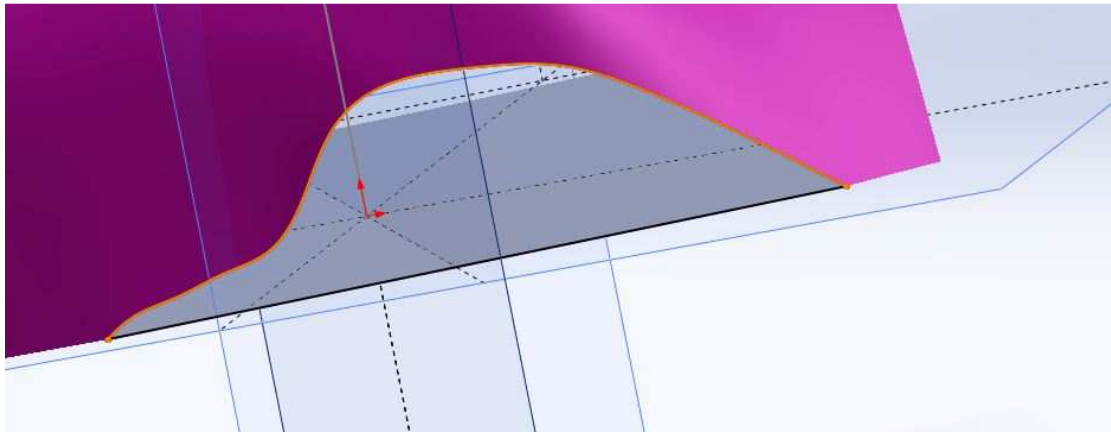
Όπου επιλέγεται το 3d sketch που θέλουμε να γίνει επιφάνεια. Παρατηρείτε ότι πλέον το σχέδιο έχει πάρει διάσταση και χρώμα πριν την οριστική δημιουργία του ενώ το τελικό αποτέλεσμα είναι το παρακάτω.



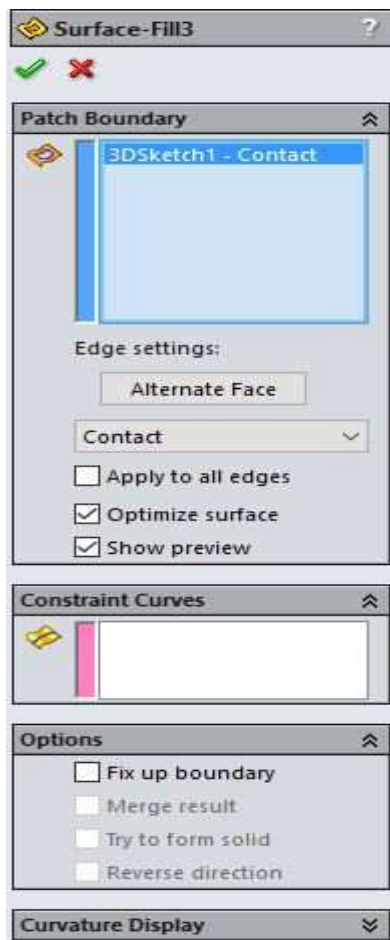
Εικόνα 5.9.3.27 Τελικό αποτέλεσμα Surface fill

Πρέπει να σημειωθεί πως θα πρέπει να είμαστε πολύ ακριβείς, όσο περισσότερο γίνεται καθώς δεν έχουμε τρόπο μέτρησης πέρα από το οπτικό, αλλιώς όταν θα δημιουργηθούν οι επιφάνειες πέρα από το ότι το πρόγραμμα δεν θα μας επιτρέψει να τις κατασκευάσουμε, δεν θα έχουμε ένα ομοιόμορφο αποτέλεσμα.

Ακολουθώντας ακριβώς την ίδια λογική και εντολές δημιουργούμε ένα 3d sketch στην εμπρόσθια όψη του μοντέλου μας.

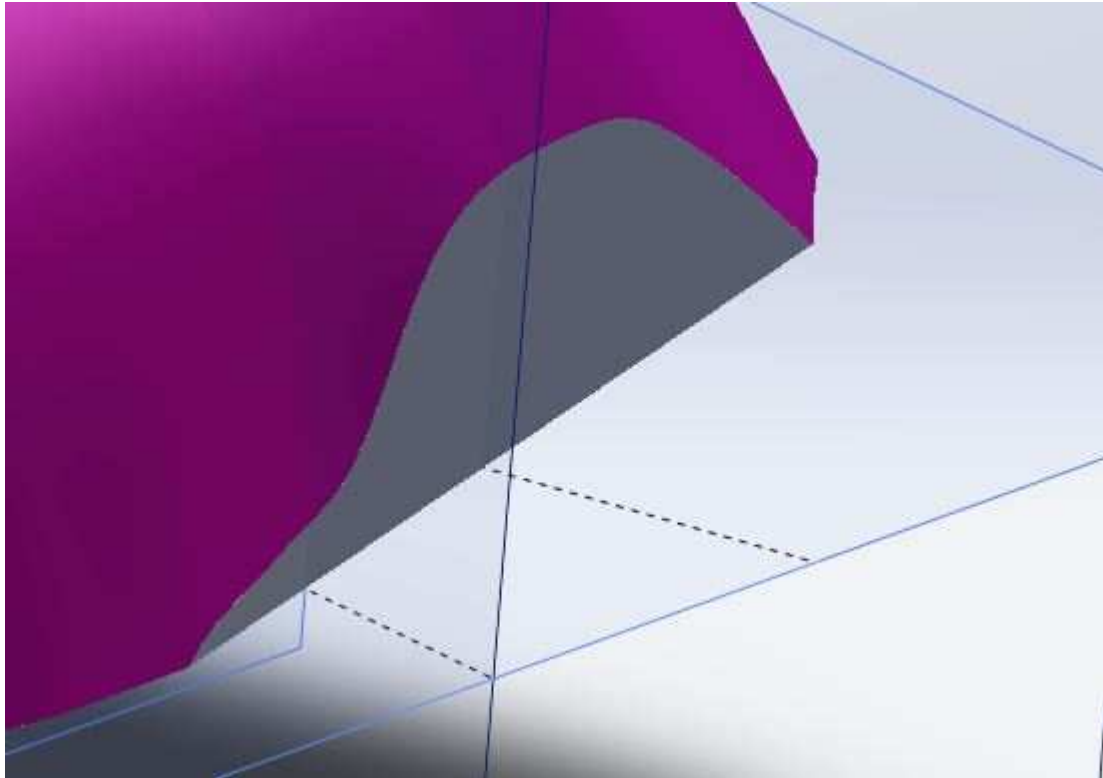


Εικόνα 5.9.3.28 3D Sketch front side



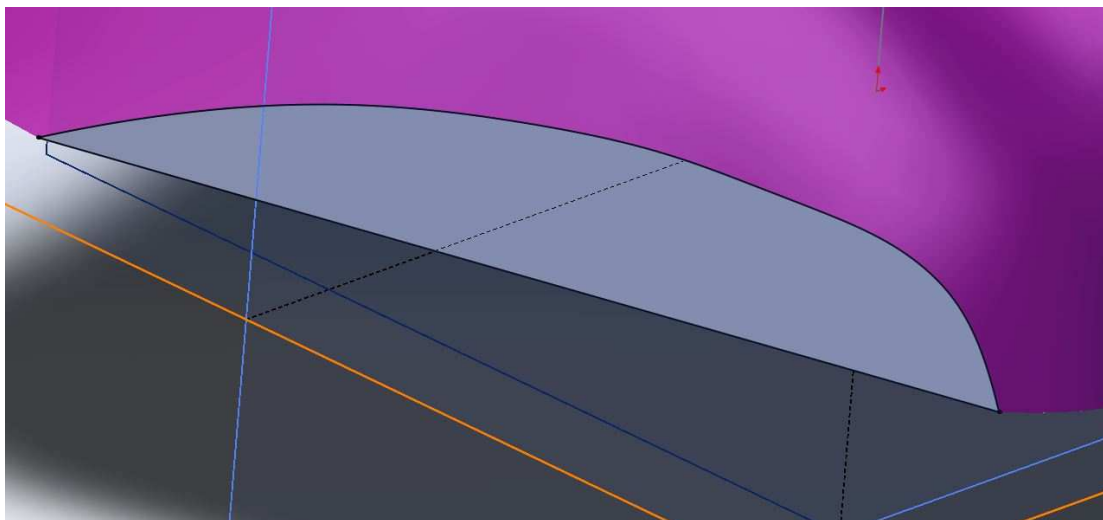
Εικόνα 5.9.3.29 Ρυθμίσεις Surface fill μπροστινής πλευράς

Και το τελικό αποτέλεσμα των ρυθμίσεων είναι το παρακάτω:

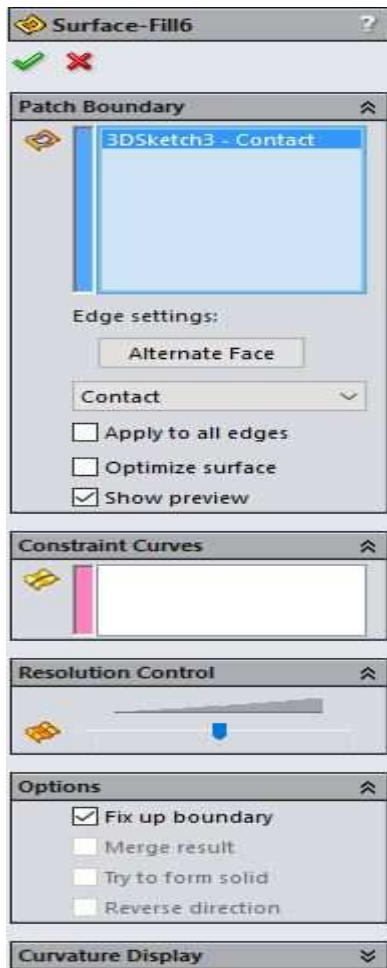


Εικόνα 5.9.3.30 Ολοκλήρωση Surface fill εμπρόσθια όψης

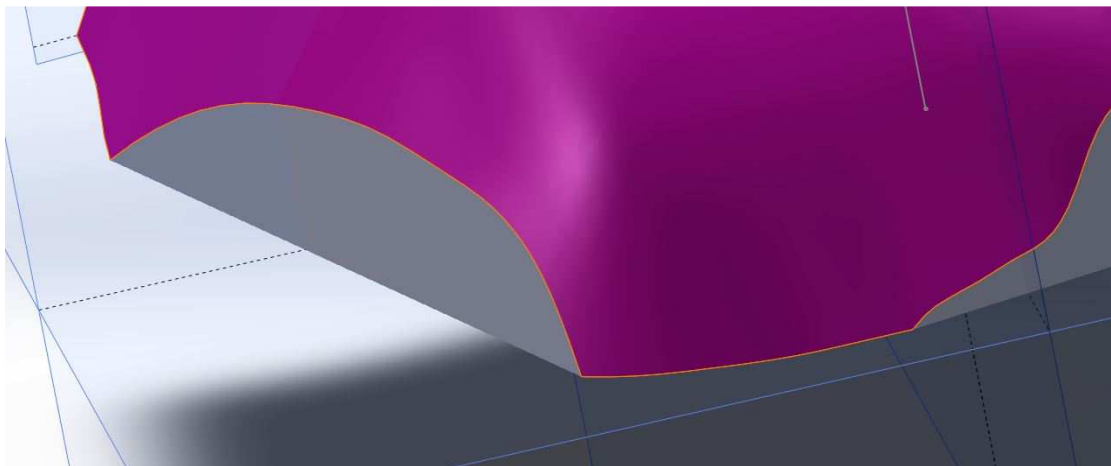
Εφαρμόζονται ακριβώς οι ίδιες εντολές για την πλαϊνή μεριά του ποντικιού



Εικόνα 5.9.3.31 3D Sketch πλάγια όψη



Εικόνα 5.9.3.32 Ρυθμίσεις Surface fill πλάγια όψης 1



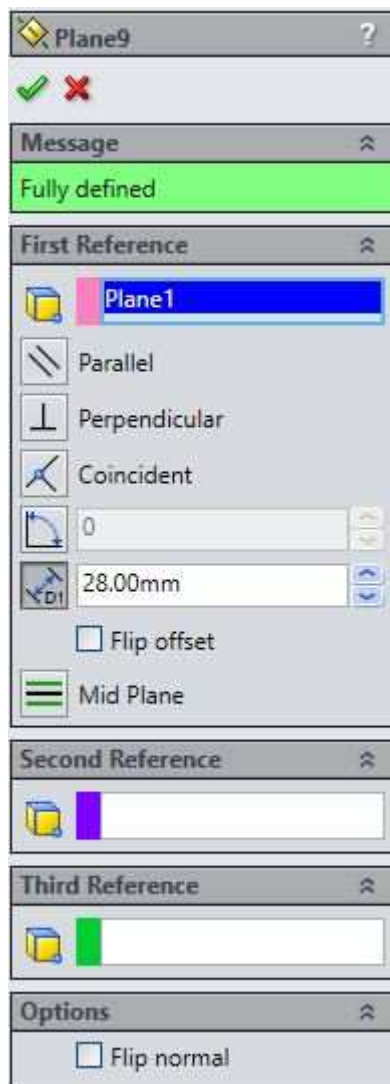
Εικόνα 5.9.3.33 Ολοκλήρωση Surface fill πλάγιας όψης 1

Προχωρώντας στην πλάγια και τελευταία επιφάνεια του μοντέλου μας και προσπαθώντας να πραγματοποιηθεί η ίδια διαδικασία, παρατηρείτε πως στην βάση του ποντικού η επιφάνεια δεν είναι ευθύγραμμη και δεν υπάρχει τρόπος να δημιουργηθεί ένα 3D Sketch το οποίο να μπορέσει να καλύψει την επιφάνεια με απόλυτη ακρίβεια καθώς δεν υπάρχει κάποιος τρόπος μέτρησης της καμπυλότητας που δημιουργείτε στο συγκεκριμένο σημείο.

Για το λόγο αυτό πρέπει να εξομαλύνεται η επιφάνεια αυτή, αφαιρώντας παραπάνω υλικό από ότι υπολογιζόταν .

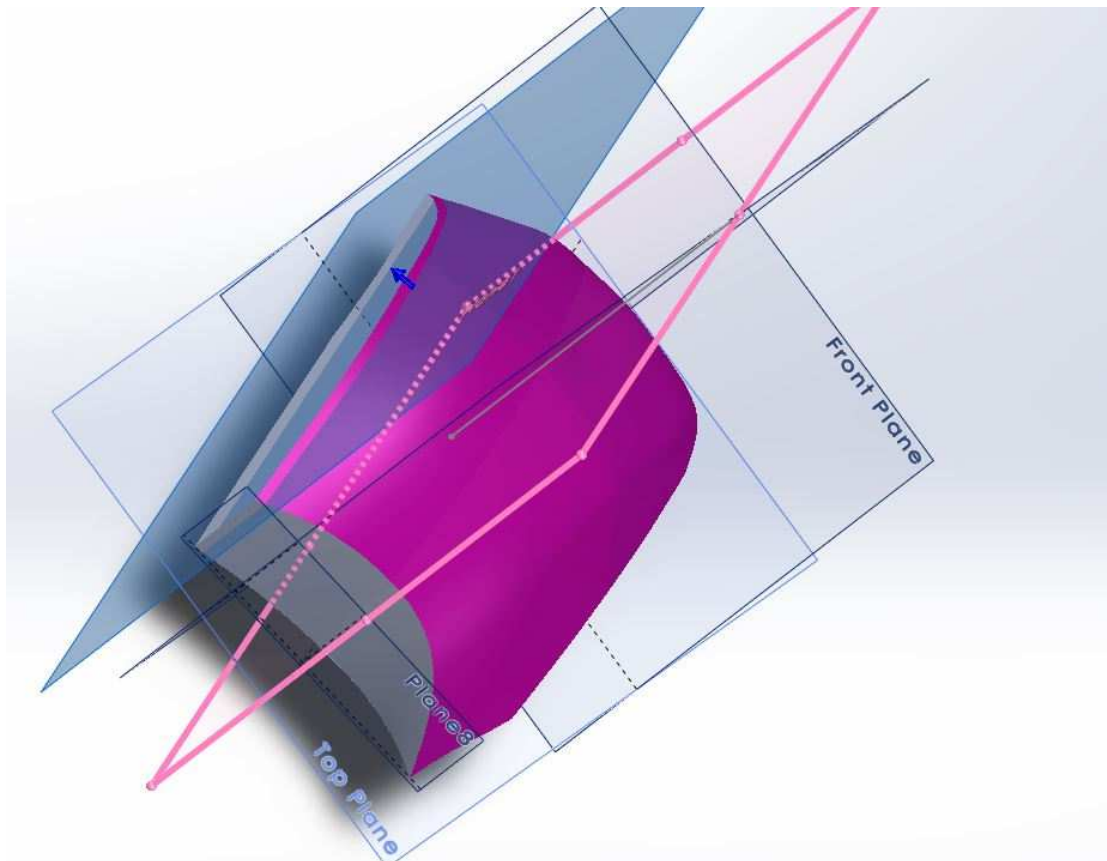
Πρέπει λοιπόν να δημιουργήσουμε μία νοητή επιφάνεια(plane) η οποία θα μας επιτρέψει να την χρησιμοποιήσουμε ως αναφορά για την κοπή. Δημιουργείται μία νοητή επιφάνεια(plane) που θα χρησιμοποιηθεί ως κέντρο αναφοράς για την πραγματοποίηση της κοπής

Χρησιμοποιώντας το path **Reference geometry** **Plane** και τοποθετώντας τις εξής ρυθμίσεις



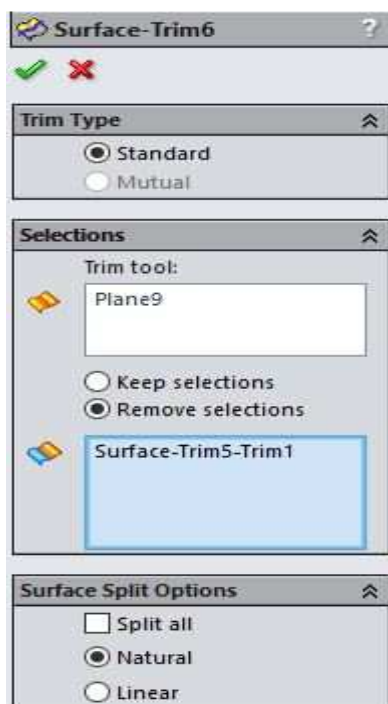
Εικόνα 5.9.3.34 Ρυθμίσεις διορθωτικού Plane

Δημιουργείτε το εξής Plane:



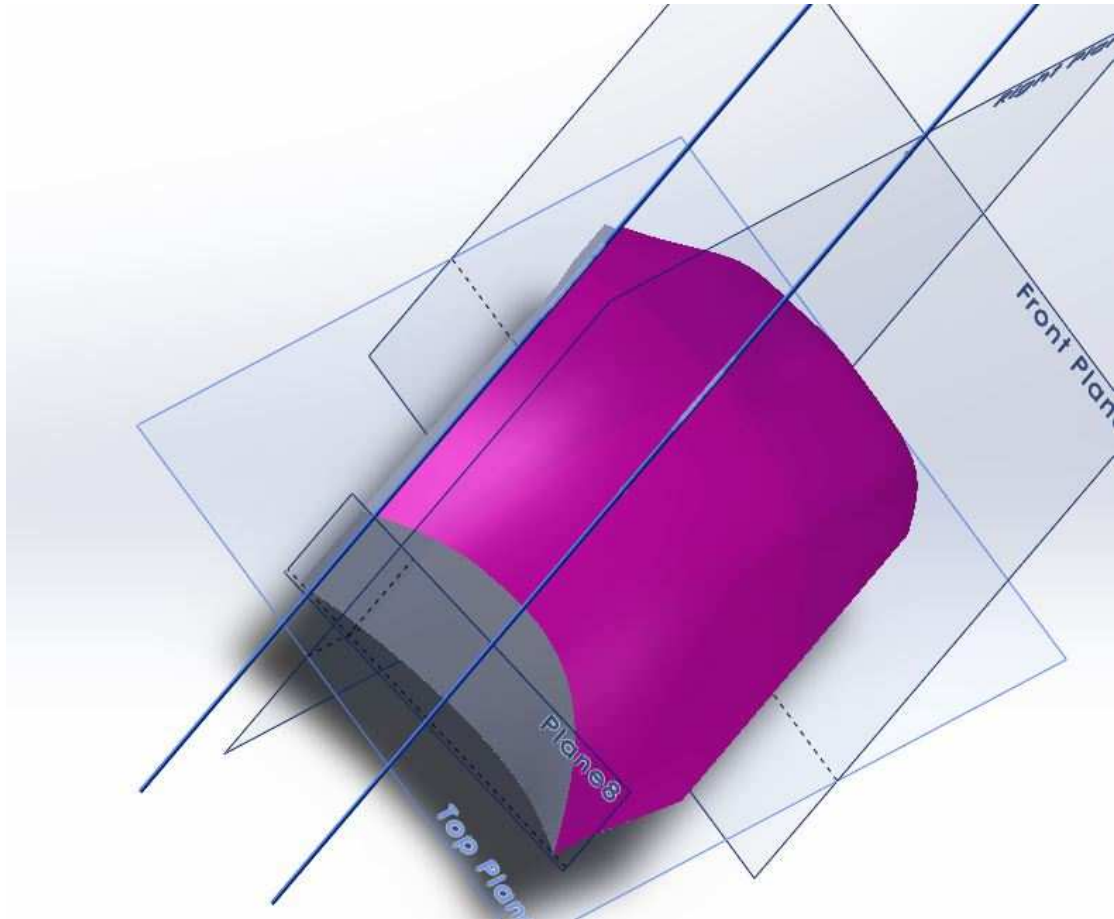
Εικόνα 5.9.3.35 Plane διόρθωσης

Και εφαρμόζεται **Surface-trim** με τις εξής ρυθμίσεις.



Εικόνα 5.9.3.36 Ρυθμίσεις plane διόρθωσης

Το αποτέλεσμα μετά το πέρας της εντολής είναι το εξής:



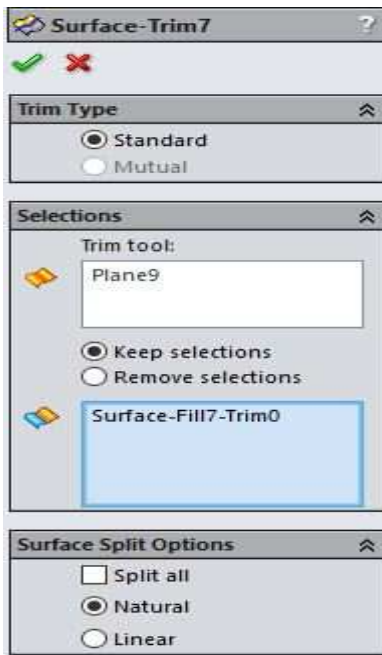
Εικόνα 5.9.3.37 Surface trim model

Παρατηρείτε όμως ότι η μόνη επιφάνεια η οποία έχει αφαιρεθεί, είναι η αποτυπωμένη.

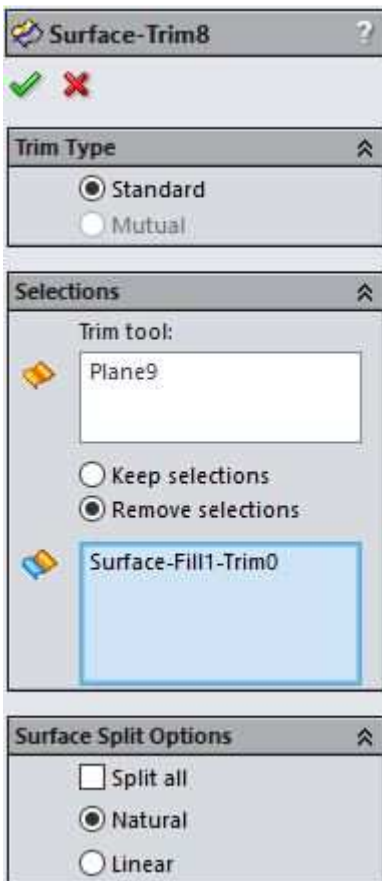
Επαναλαμβάνεται λοιπόν την διαδικασία και για τις υπόλοιπες επιφάνειες.

Ακολουθείτε το path **Surface** → **Surface trim**.

Οι ρυθμίσεις και για τις 2 επόμενες εντολές Surface trim είναι οι ακόλουθες.

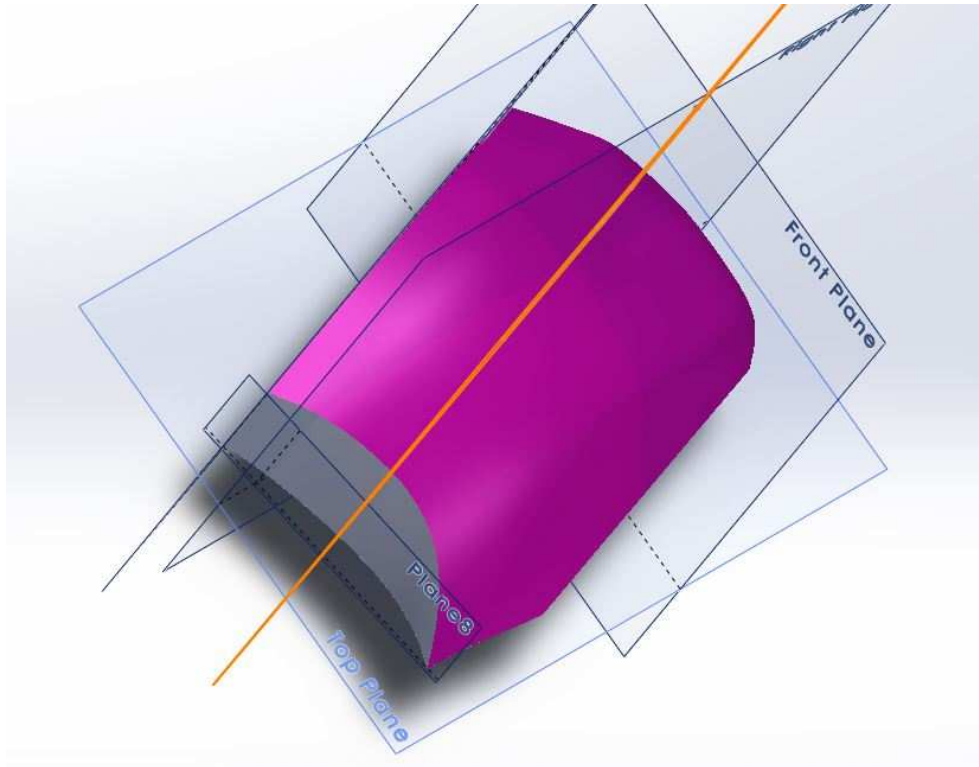


Εικόνα 5.9.3.38 Ρύθμιση 1



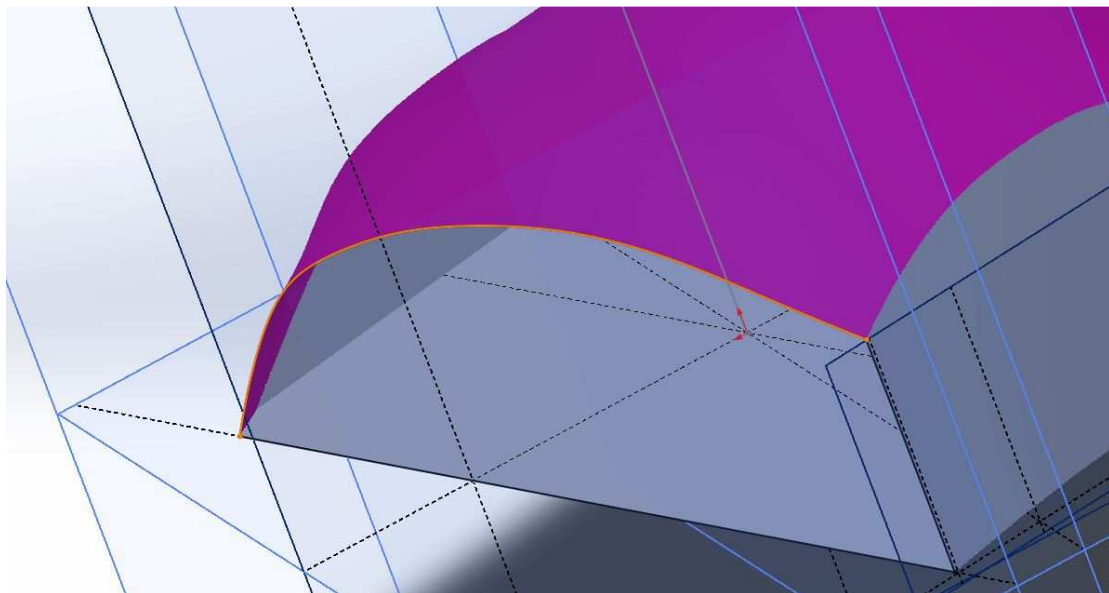
Εικόνα 5.9.3.39 Ρύθμιση 2

Το τελικό αποτέλεσμα των αλλαγών μας αυτών :

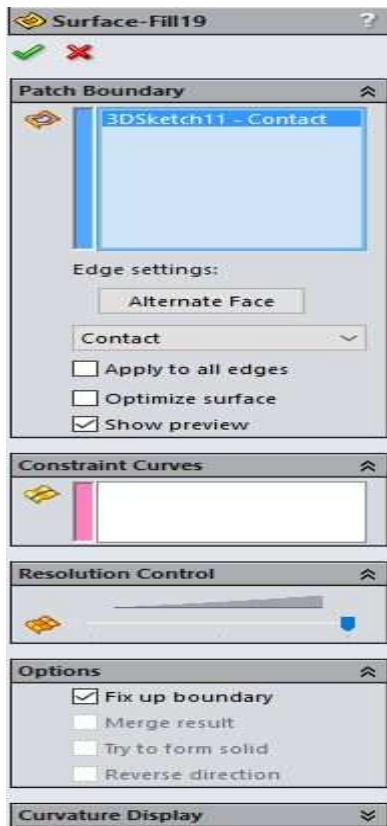


Εικόνα 5.9.3.40 Αποτέλεσμα κοπής

Οδηγούμαστε στην αμέσως επόμενη εντολή που είναι το **Surface fill** για να ολοκληρωθεί περιμετρικά το μοντέλο μας.

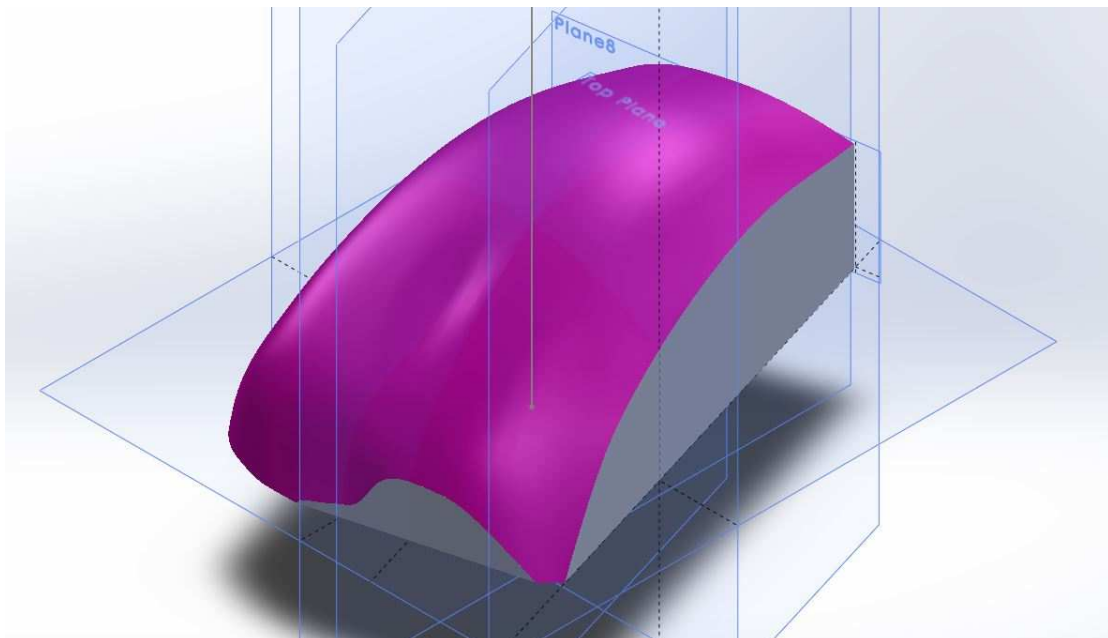


Εικόνα 5.9.3.41 3D Sketch for last surface fill



Εικόνα 5.9.3.42 Last surface fill

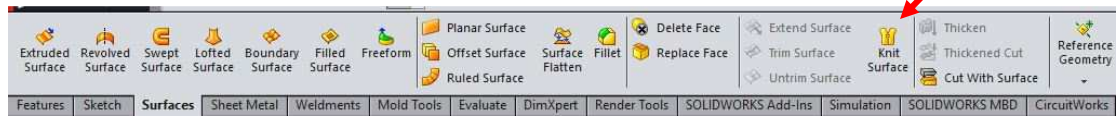
Το ολοκληρωμένο μοντέλο , περιμετρικά , έχει την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 5.9.3.43 Isometric view

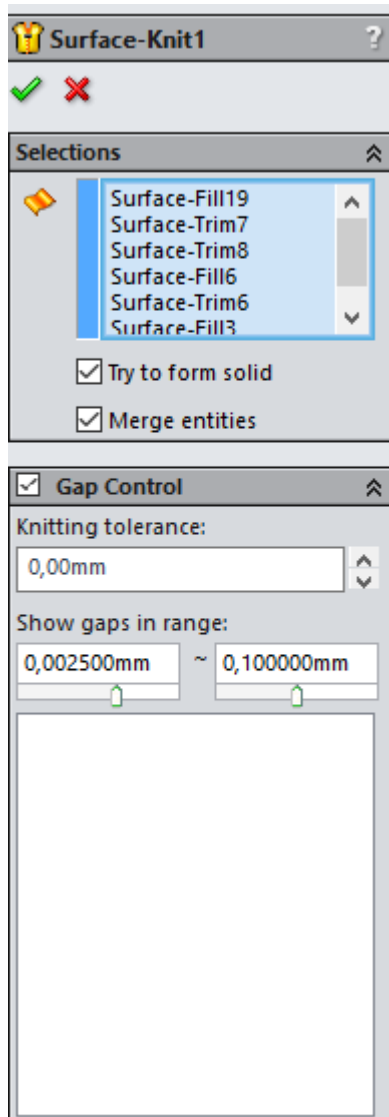
Για να μπορέσουμε να θεωρήσουμε ότι το μοντέλο μας είναι έτοιμο θα πρέπει τις επιφάνειες που δημιουργήσαμε να τις ενώσουμε μεταξύ τους.

Η εντολή η οποία μας δίνει την δυνατότητα αυτή είναι το **Knit surface** το οποίο βρίσκεται στο Tab **Surface**.



Εικόνα 5.9.3.44 Knit Surface

Επιλέγουμε στη συνέχεια όλες τις επιφάνειες καθώς θέλουμε να σχηματίζουν solid εξάρτημα.



Εικόνα 5.9.3.45 Knit Surface settings

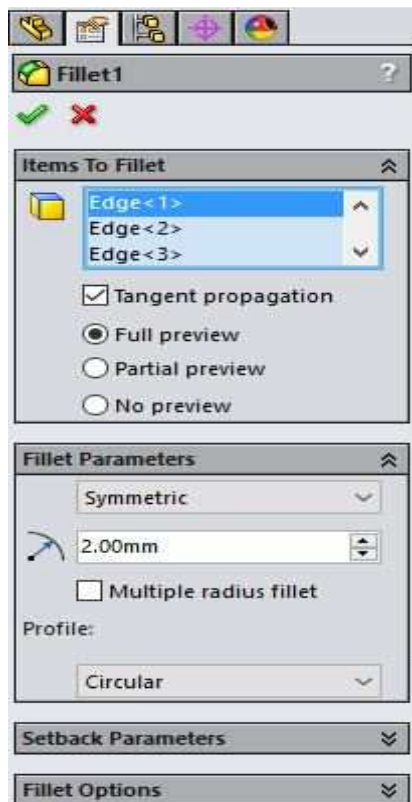
Τέλος για να ολοκληρωθεί το μοντέλο εφαρμόζεται η εντολή **Fillet** στις ακμές του μοντέλου.

Επιλέγεται από το taskbar την εντολή Fillet



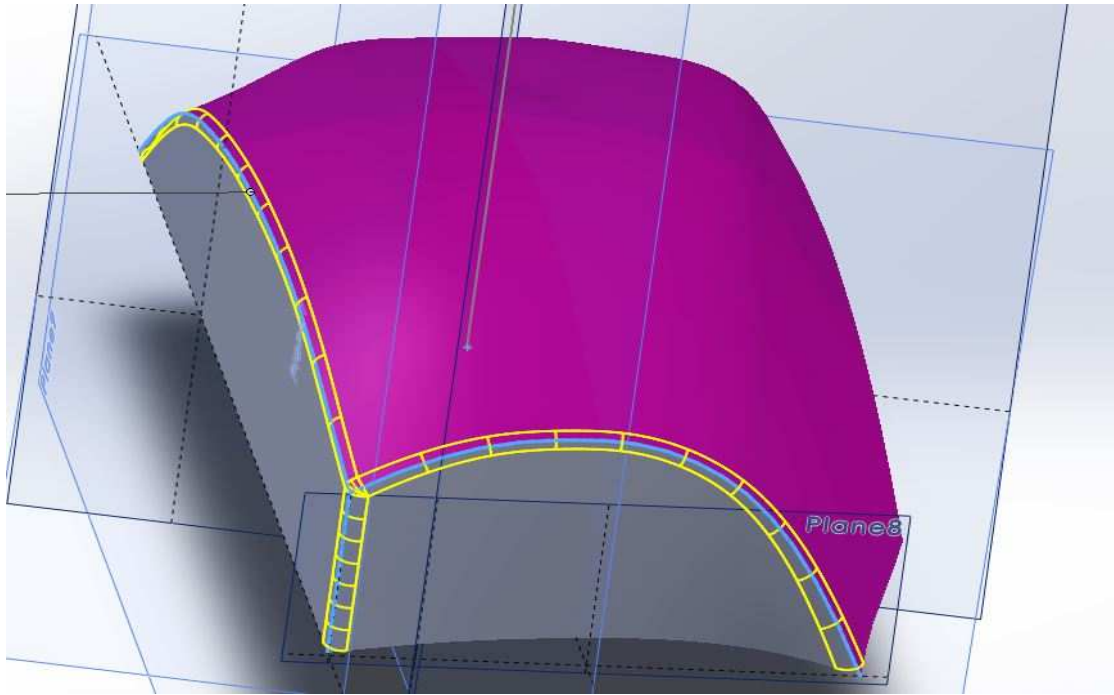
Εικόνα 5.9.3.46 Fillet command

Και τοποθετούνται οι αντίστοιχες ρυθμίσεις για ένα καλό οπτικό αποτέλεσμα.



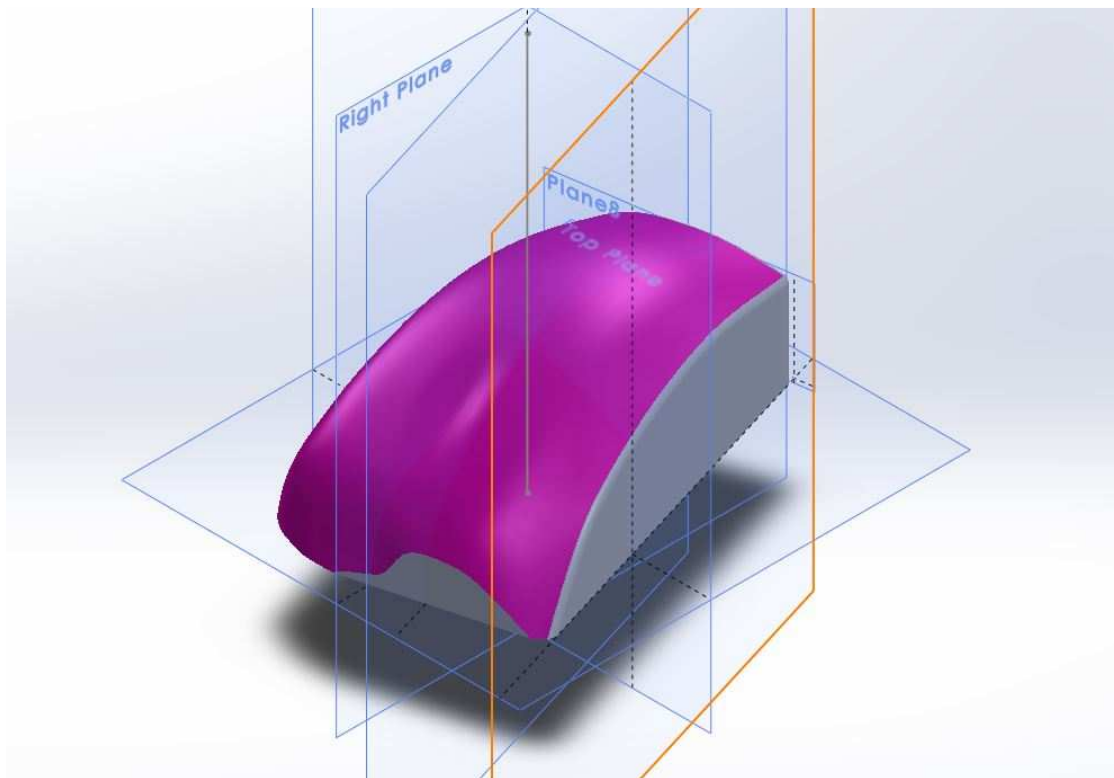
Εικόνα 5.9.3.47 Fillet adjustments

Επιλέγονται τα σημεία εφαρμογής της εντολής.



Εικόνα 5.9.3.48 Επιλογή ακμών προς Fillet

Το μοντέλο πλέον είναι έτοιμο για να εισαγωγή σε CNC πρόγραμμα (HSM PRO), για να γίνει η κατεργασία του.



Εικόνα 5.9.3.49 Isometric view of finished model

6. Κατεργασίες μορφοποίησης

Στο κεφάλαιο αυτό ,ενώ έχουν δημιουργηθεί όλες οι απαραίτητες επιφάνειες για την τελική παρουσίαση του ποντικιού, καλούμαστε να προσομοιώσουμε το μοντέλο μας σε αληθινές συνθήκες κατεργασίας, δηλώνοντας ουσιαστικά τις επιφάνειες και τις διαδικασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν έτσι ώστε ένα στερεό ορθογώνιο δοκίμιο, να γίνει το ποντίκι που μορφοποιήθηκε στο προηγούμενο βήμα.

Σημειώνεται πως, για την καλύτερη προσομοίωση και κατανόηση της συμμετρίας και γεωμετρίας του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό μοντέλο από αυτό που δημιουργήθηκε στα προηγούμενα βήματα.

6.1. Αφαίρεση υλικού σε δύο διαστάσεις (2D)

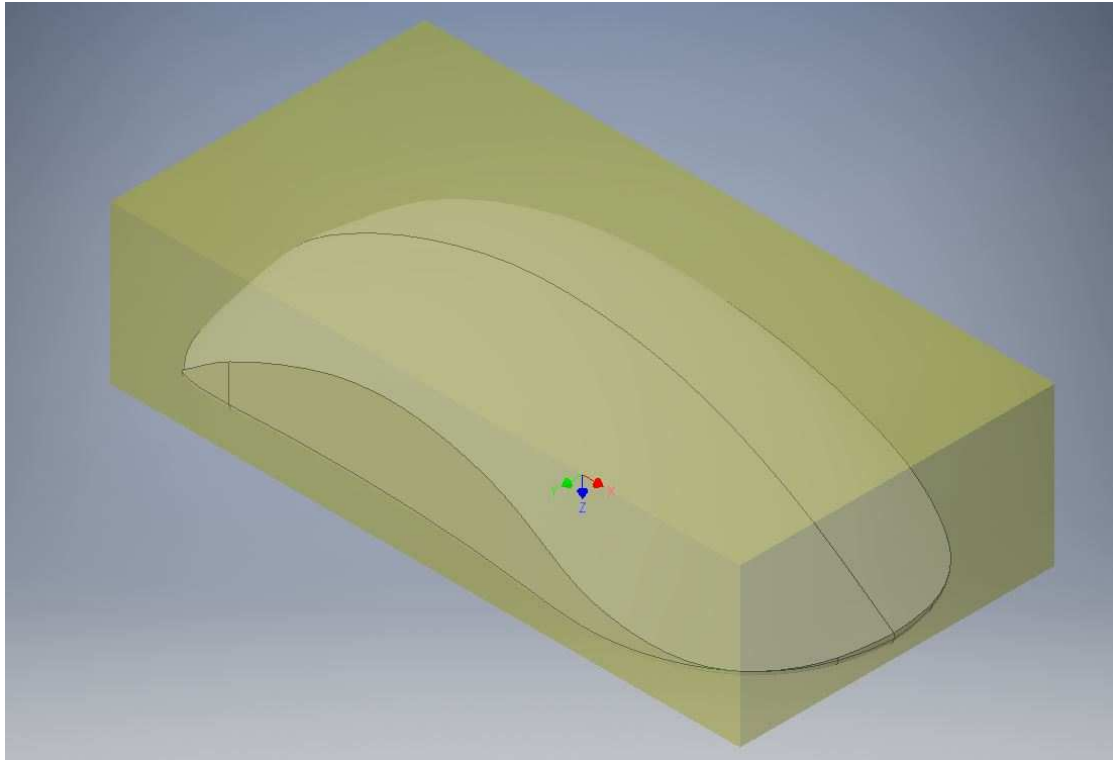
Αρχικά θα πρέπει να αφαιρεθεί το υλικό που περισσεύει από την κάτω μεριά του δοκιμίου έτσι ώστε να μπορέσουμε να προχωρήσουμε στις καμπύλες επιφάνειες.

Στην αρχική καρτέλα του CAM,



Εικόνα 6.1.1 CAM ribbon

γίνεται επιλογή Setup για να προσομοιαστεί το stock μοντέλο μας και να δοθεί προσανατολισμός στο μοντέλο .

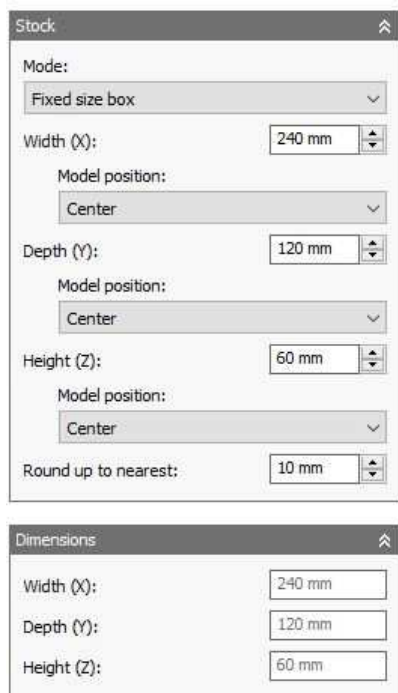


Εικόνα 6.1.2 Stock model

Πρέπει να σημειωθεί πως ο άξονας Z καθορίζει τον προσανατολισμό του κοπτικού που θα χρησιμοποιηθεί.

Συνεπώς, επειδή επιθυμούμε να αφαιρέσουμε υλικό από την κάτω μεριά επιλέγουμε τον προσανατολισμό του σχήματος.

Οι διαστάσεις του stock μας είναι οι ακόλουθες:



Εικόνα 6.1.3 Stock dimensions

Ολοκληρώνεται το Setup και στο επόμενο βήμα επιλέγεται η διαδικασία κατεργασίας(κοπής).

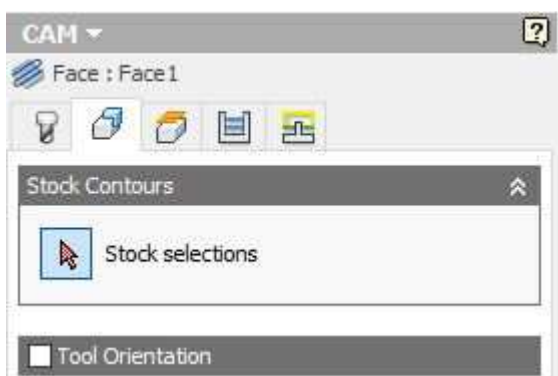
Εφόσον η κατεργασία αφορά την κάτω μεριά του μοντέλου, επιλέγουμε από την αρχική καρτέλα την κοπής σε 2 διαστάσεις και στη συνέχεια το **Face**.

Στην πρώτη καρτέλα επιλέγουμε κοπτικό .

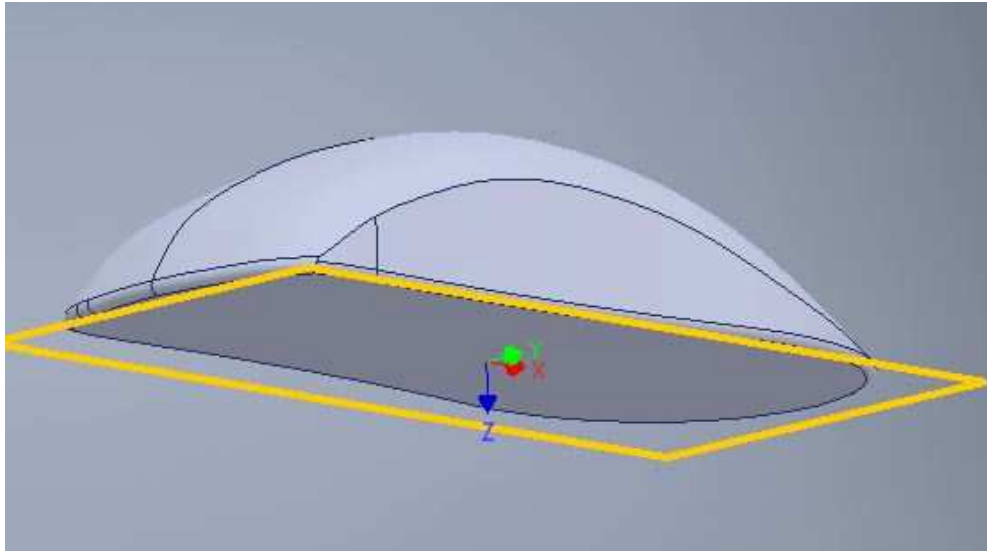
Name	Number	Diameter	Corner ...	Angle	Type	Vendor	Product ID	Description	Comment	Spindle...	Cutting...	Diamet...	Length ...
#1 - Ø50 mm Face	1	50 mm	0 mm	0°	Face Mill					955	460	1	1
Face1										955	460		

Εικόνα 6.1.4 Κοπτικό

Επιλέγουμε επιφάνεια κοπής .

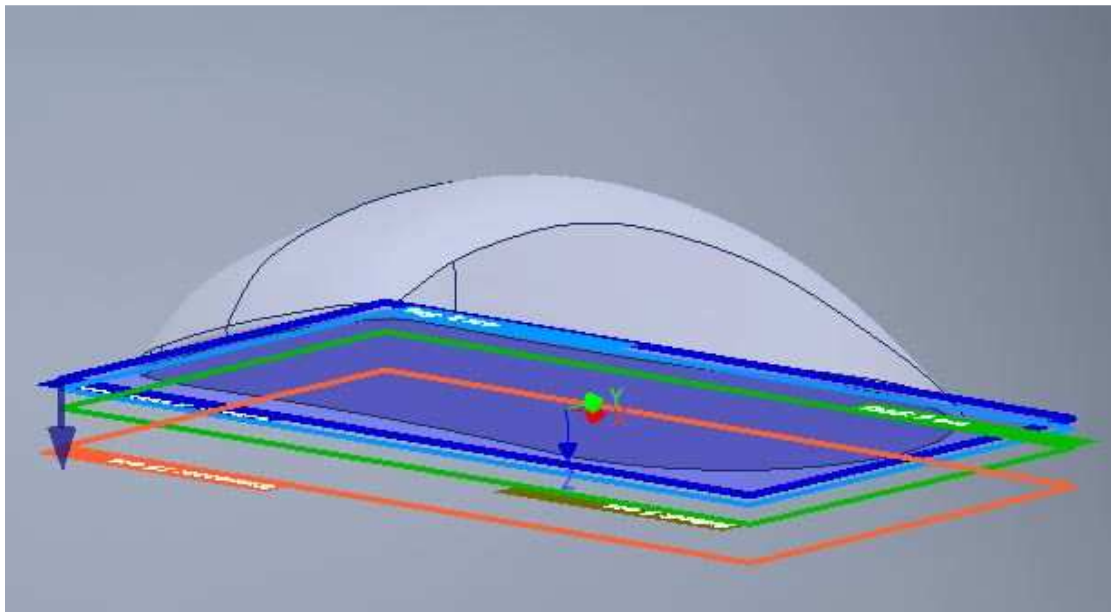


Εικόνα 6.1.5 Επιφάνεια κοπής ρύθμιση



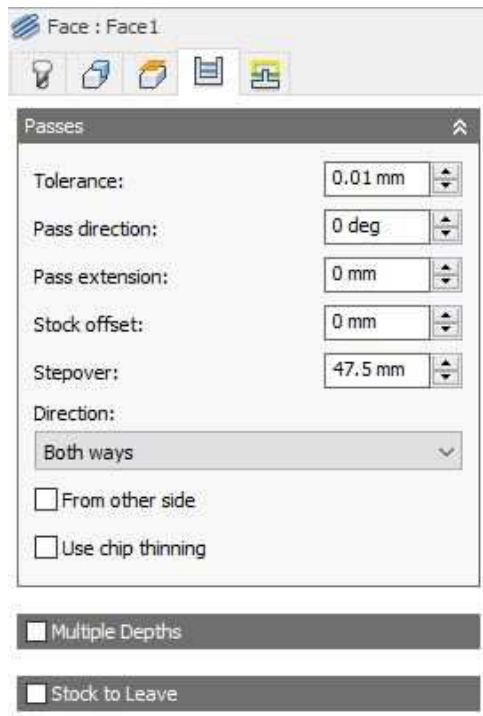
Εικόνα 6.1.6 Επιφάνεια κοπής

ενώ τα ύψη κοπής παραμένουν στις δοσμένες ρυθμίσεις.



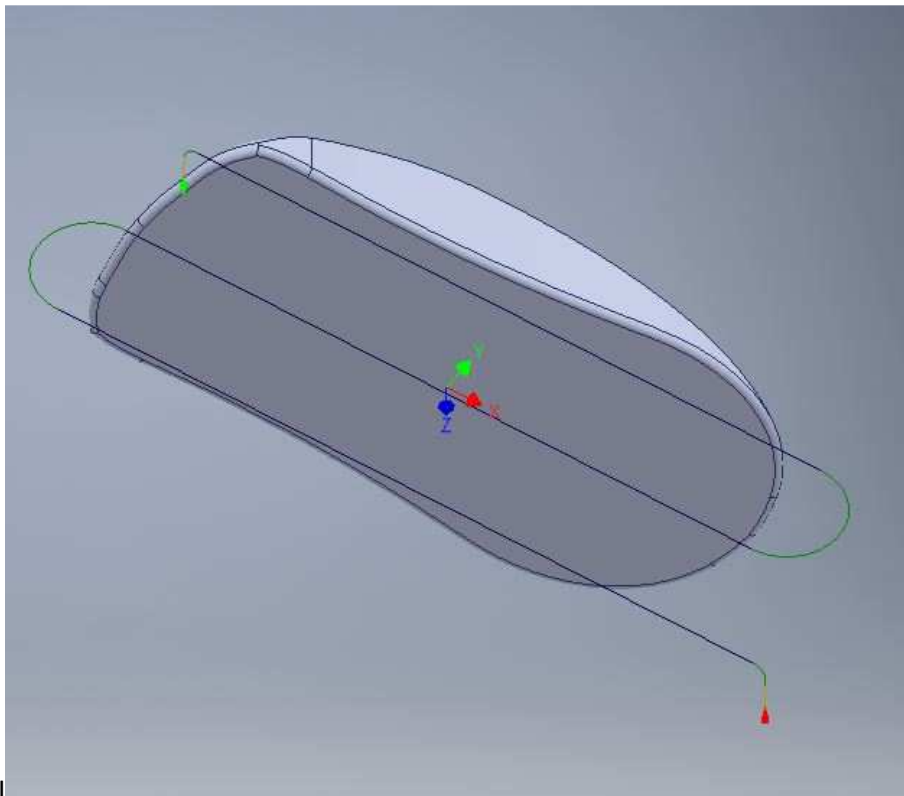
Εικόνα 6.1.7 Ύψη κοπής

Στην καρτέλα που ρυθμίζει τα περάσματα και τις ανοχές επιλέγονται οι εξής ρυθμίσεις:



Εικόνα 6.1.8 Ρυθμίσεις Περασμάτων και ανοχών

Με την τελευταία αυτή εντολή η πορεία του κοπτικού θα πρέπει να είναι ως εξής:



Εικόνα 6.1.9 Face complete

6.2 Αφαίρεση υλικού σε 3 διαστάσεις

Στο επόμενο βήμα μεταφερόμαστε από την άνω μεριά του μοντέλου.

Η καμπύλη επιφάνεια καθιστά δύσκολο να χρησιμοποιηθεί εντολή σε δύο διαστάσεις.

Η μεταφορά όμως μας δίνει την δυνατότητα να εκτελέσουμε μία εντολή σε δύο διαστάσεις που μπορεί να γίνει μόνο με το κοπτικό εργαλείο από την άνω μεριά του δοκιμίου και αφορά την κοπή του περιττού υλικού περιμετρικά του μοντέλου.

Αρχικά επαναλαμβάνεται η διαδικασία του Setup φροντίζοντας ότι ο άξονας Z θα έχει κατεύθυνση προς τα πάνω.

Οι ρυθμίσεις του stock μοντέλου παραμένουν οι ίδιες.

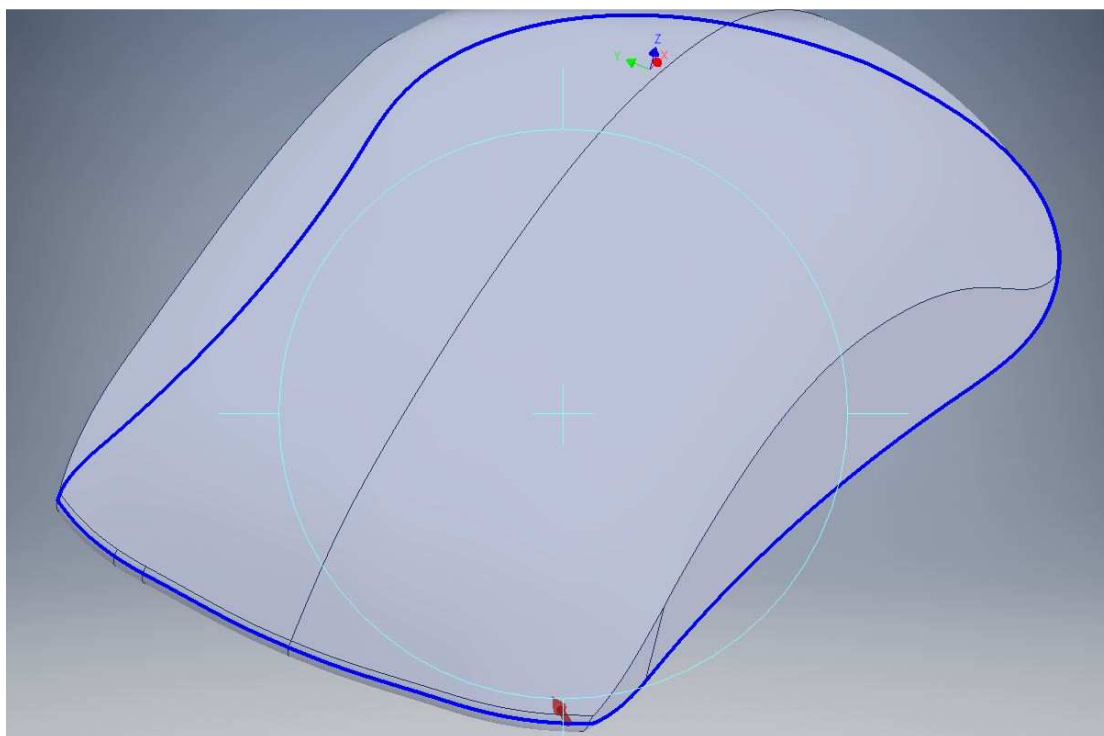
Επιλέγουμε την εντολή **2D Contour** η οποία μπορεί να κάνει ξεχόνδρισμα εξωτερικά του μοντέλου.

Στο πρώτο στάδιο όπως πριν, γίνεται επιλογή κοπτικού εργαλείου.



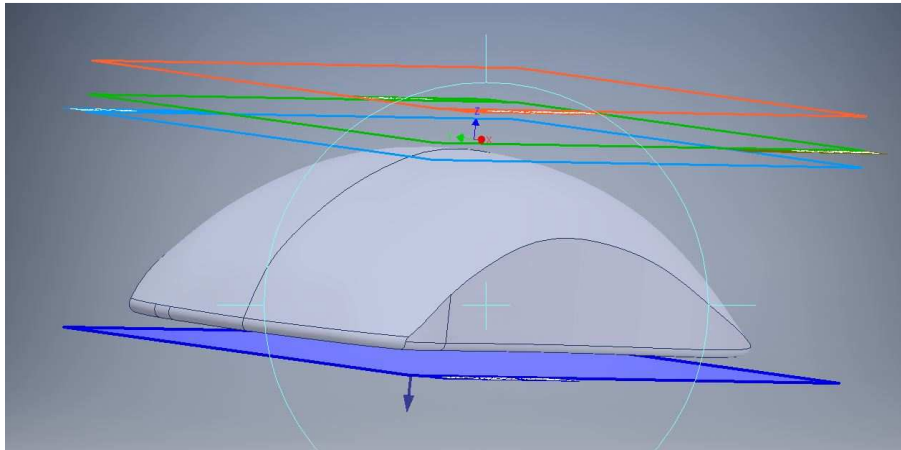
Εικόνα 6.2.1 Επιλογή κοπτικού

Επιλογή της γεωμετρίας που πρέπει να κοπεί

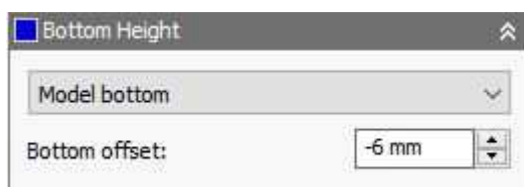


Εικόνα 6.2.2 Περίμετρος μοντέλου

Στη συνέχεια ρυθμίζονται τα ύψη κοπής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει η κατώτατη επιφάνεια κοπής να βρίσκεται μερικά χιλιοστά πιο κάτω από το κατώτερο σημείο του μοντέλου φροντίζοντας έτσι πως θα αφαιρεθεί όλο το υλικό.

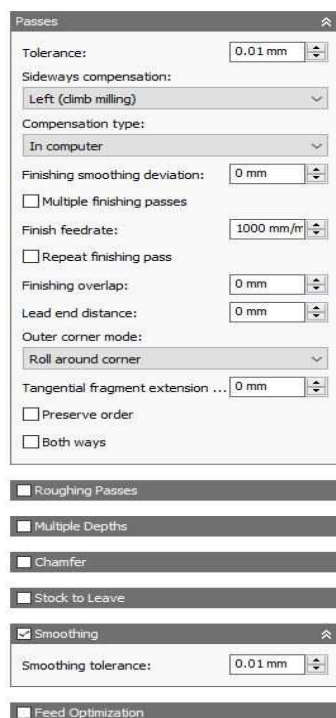


Εικόνα 6.2.3 Ύψη κοπής



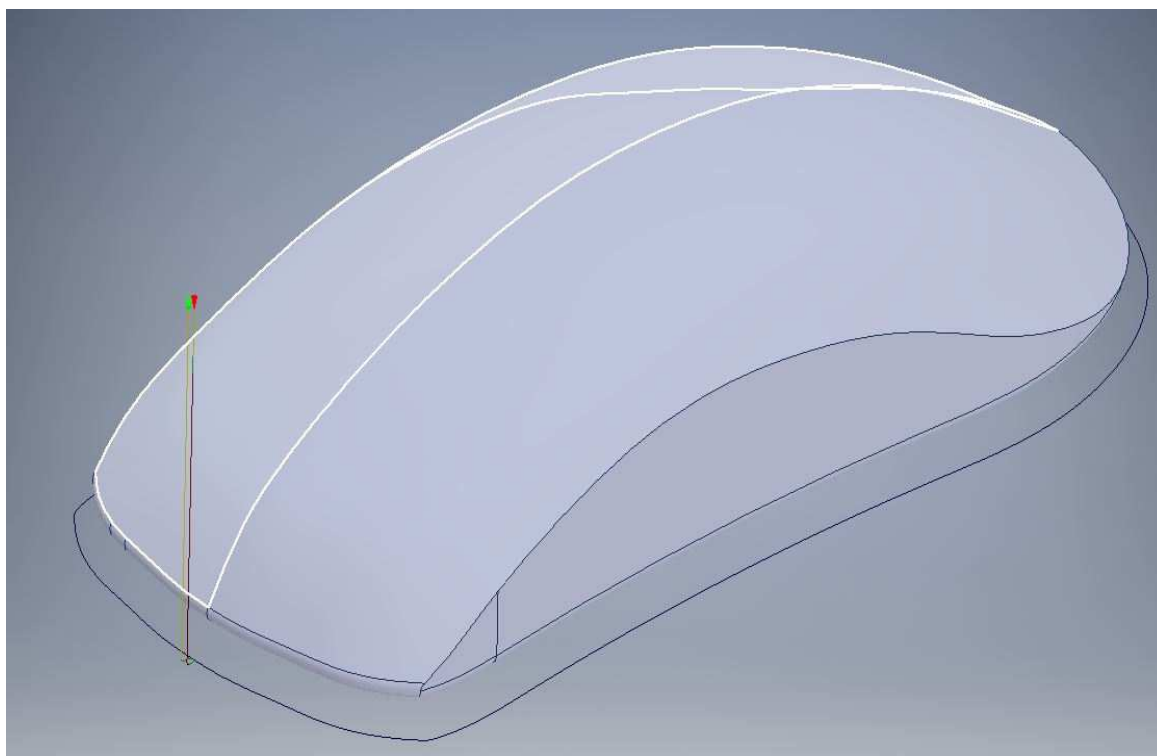
Εικόνα 6.2.4 Bottom height

Τέλος επιλέγουμε ανοχές και περάσματα



Εικόνα 6.2.5 Ανοχές και πάσα

Ολοκληρώνοντας και αυτή την εντολή, η πορεία του κοπτικού θα έχει αυτή τη μορφή.



Εικόνα 6.2.6 Περιμετρική κοπή

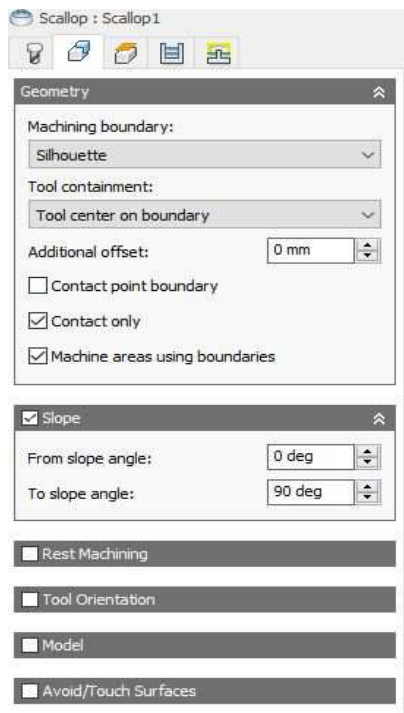
Στο επόμενο βήμα πρέπει να κατεργαστεί η κύρια επιφάνεια του μοντέλου που κάνει την μεγαλύτερη καμπύλη.

Έχοντας ήδη οριστεί η κατεύθυνση κοπτικού στο πάνω μέρος δεν χρειάζεται να δημιουργηθεί καινούργιο Setup.

Συνεπώς στο υπάρχων Setup επιλέγεται πλέον στις κατεργασίες **3D**, το **Scallop** το οποίο μας επιτρέπει σε καμπύλες επιφάνειες να κάνουμε μεταφορά και κοπή με συγκεκριμένη απόσταση.

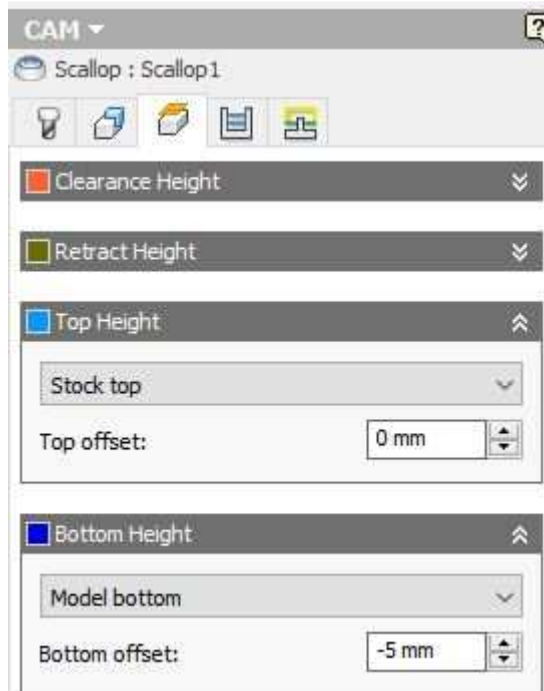
Επιλέγοντας την εντολή μας ζητείται να επιλέξουμε κοπτικό. Η επιλογή μας παραμένει η ίδια όπως προηγουμένως.

Εν συνεχεία διαλέγουμε τις εξής ρυθμίσεις γεωμετρίας :



Εικόνα 6.2.7 Ρυθμίσεις Γεωμετρίας

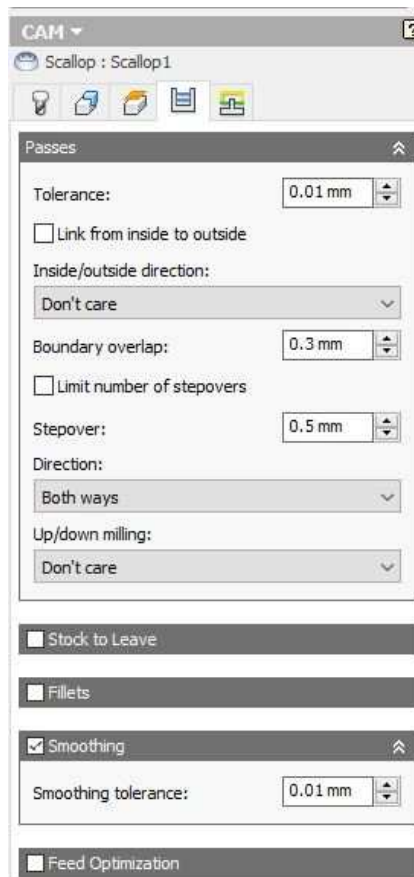
Για την επιλογή των υψών φροντίζουμε για μια ακόμη φορά το κατώτερο ύψος να βρίσκεται λίγο χαμηλότερα από την τελευταία επιφάνεια του μοντέλου



Εικόνα 6.2.8 Ύψη scallop

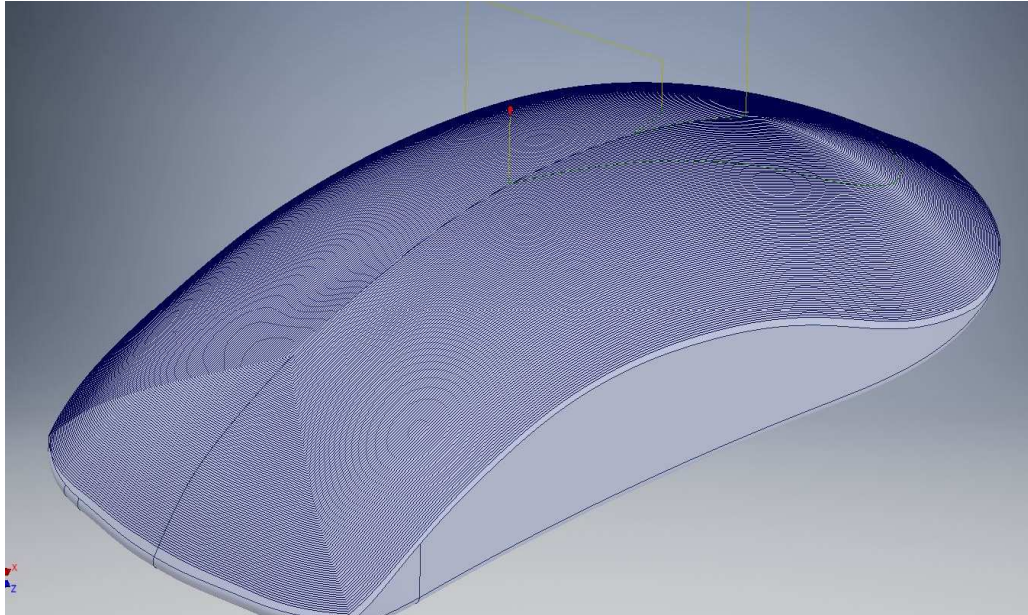
Αμέσως μετά καλούμαστε να ρυθμίσουμε περάσματα κοπτικού και ανοχές.

Επειδή η εντολή Scallop όπως ειπώθηκε και πιο πάνω κατεργάζεται καμπύλες επιφάνειες θα επιλεχθεί πολύ μικρή μετατόπιση κοπτικού ανά πέρασμα φροντίζοντας για όσο το δυνατόν καλύτερη ποιότητα επιφάνειας.



Εικόνα 6.2.9 Ανοχές και περάσματα

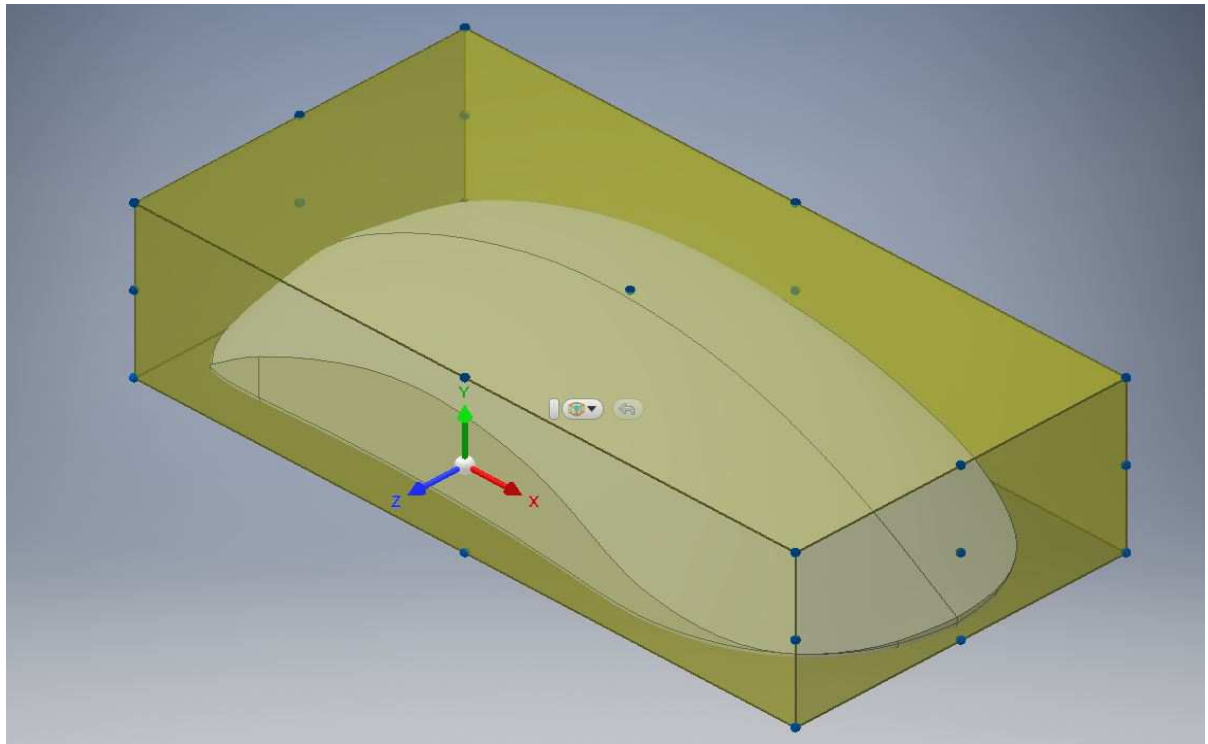
Ολοκληρώνοντας την εντολή Scallop για την καμπύλη επιφάνεια του ποντικιού, η διαδρομή του κοπτικού θα πρέπει να έχει την εξής μορφή:



Εικόνα 6.2.10 Μεταφορά κοπτικού

Προχωρώντας προς την ολοκλήρωση της κατεργασίας του ποντικιού πρέπει να ολοκληρώσουμε την διαδικασία κοπής στα σημεία όπου έχουμε μικρές καμπύλες επιφάνειες, όπως **Fillet** καθώς και πλευρικά του μοντέλου.

Για το λόγο αυτό δημιουργείτε Setup με το κοπτικό μας να βρίσκεται στα πλαϊνά του μοντέλου.

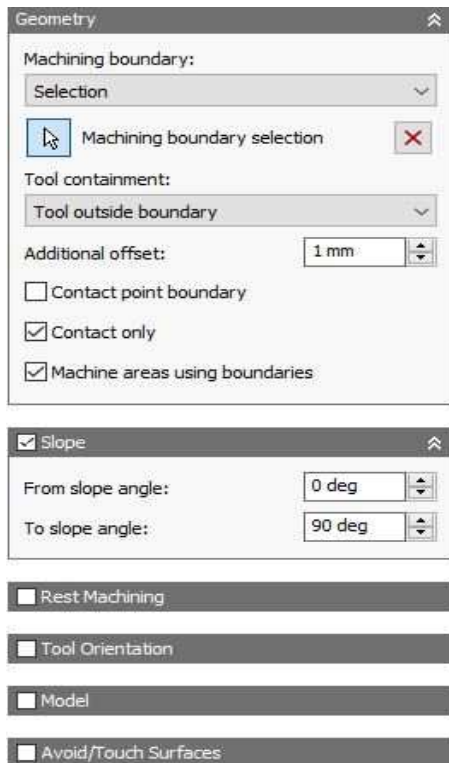


Εικόνα 6.2.11 Model orientation side

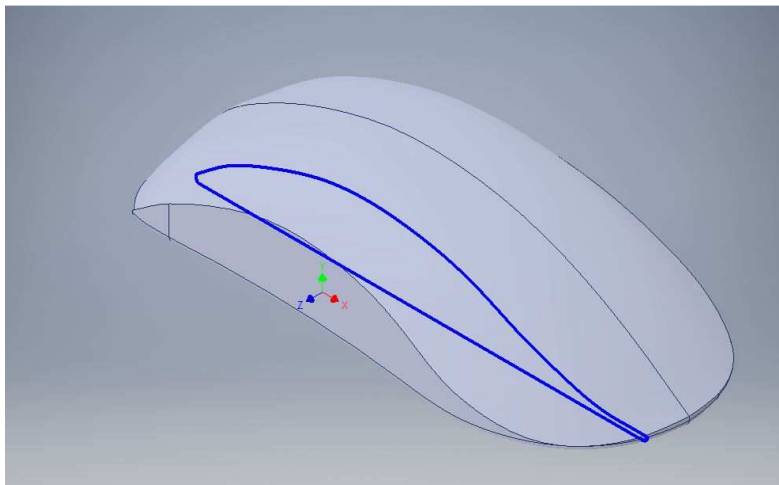
Οι ρυθμίσεις του stock είναι ίδιες με τις αρχικές και ολοκληρώνουμε το Setup.

Συνεχίζοντας επαναλαμβάνουμε την εντολή **Scallop** καθώς μας επιτρέπει να αφαιρέσουμε υλικό και από σημεία του μοντέλου που έχει εφαρμοστεί **Fillet**.

Το ίδιο κοπτικό χρησιμοποιείται όπως προηγουμένως και μεταφερόμαστε στο Tab της γεωμετρίας προς κατεργασία.



Εικόνα 6.2.12 Geometry Tab Scallop



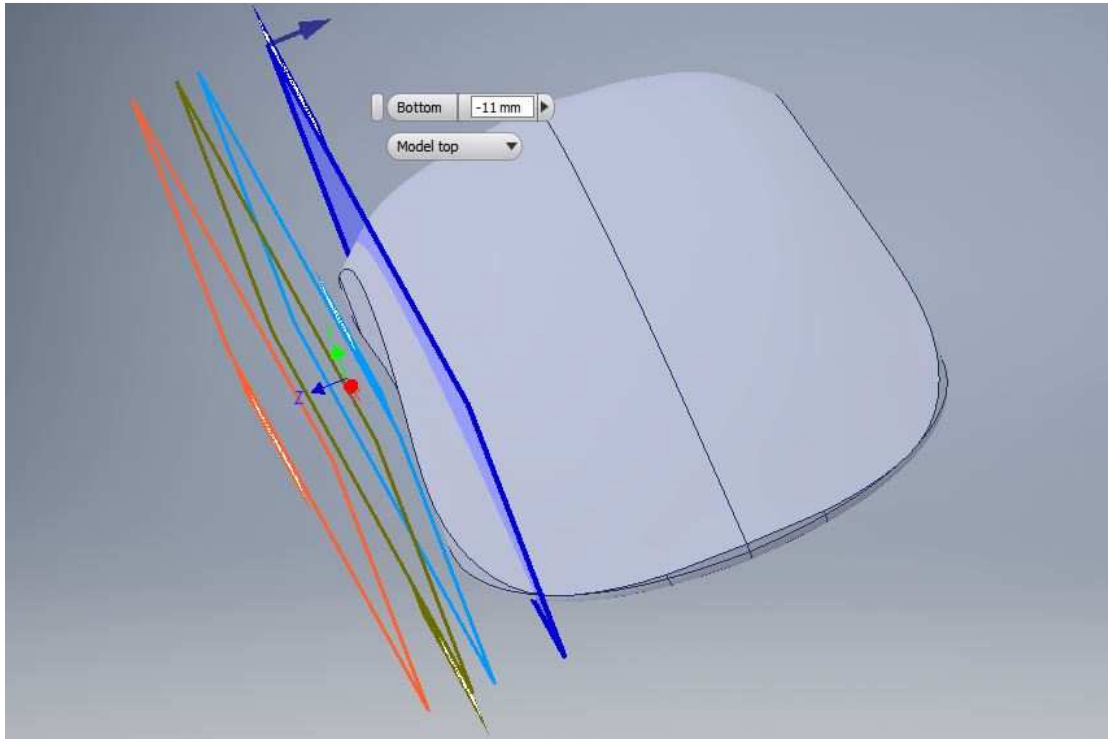
Εικόνα 6.2.13 Scallop model geometry

Συνεχίζοντας, ρυθμίζονται τα ύψη τα οποία ακολουθεί το κοπτικό φροντίζοντας παράλληλα το κατώτατο ύψος να είναι στις άκρες που υπάρχουν καμπύλες.

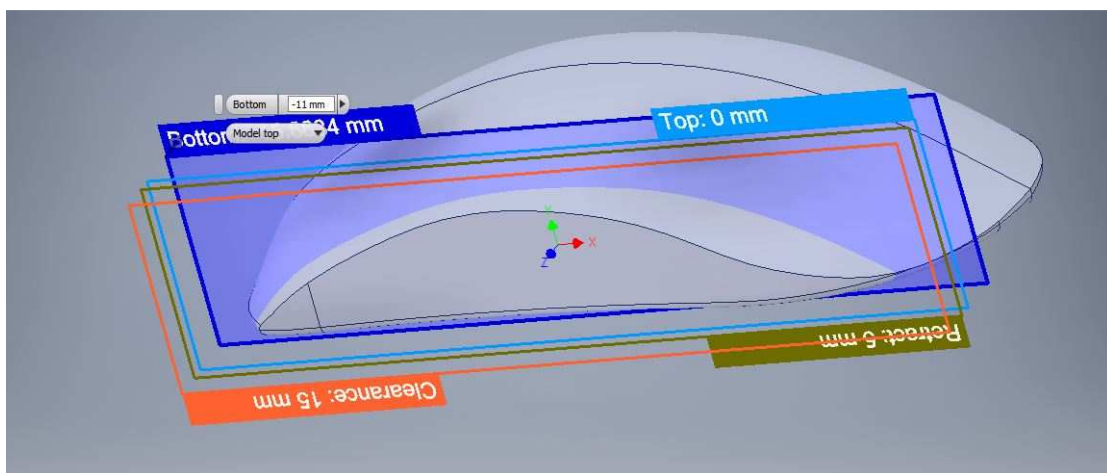
Η συγκεκριμένη ενέργεια γίνεται για δύο λόγους:

1. Όσο μικρότερη επιφάνεια χρησιμοποιείται τόσο μικρότερο χρόνο κατεργασίας θα έχουμε.

2. Παραμένοντας στις άκρες του μοντέλου, επειδή το κοπτικό ξεχονδρίζει κάθετα στην επιφάνεια, διασφαλίζεται ότι δεν θα έχουμε πρόσκρουση του τσοκ στην επιφάνεια, καταστρέφοντας το μοντέλο.

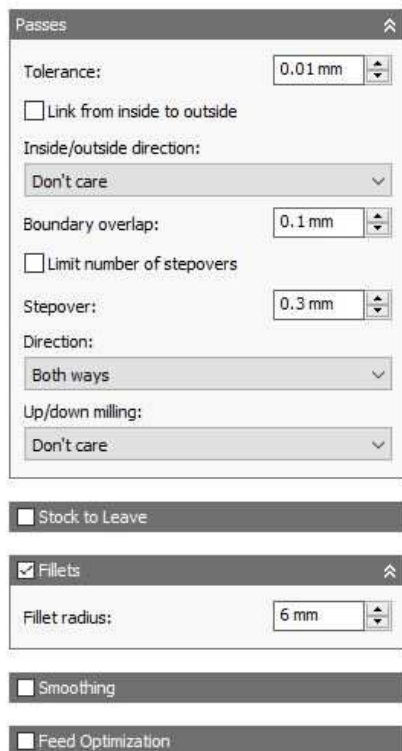


Εικόνα 6.2.14 Όρια κοπής 1



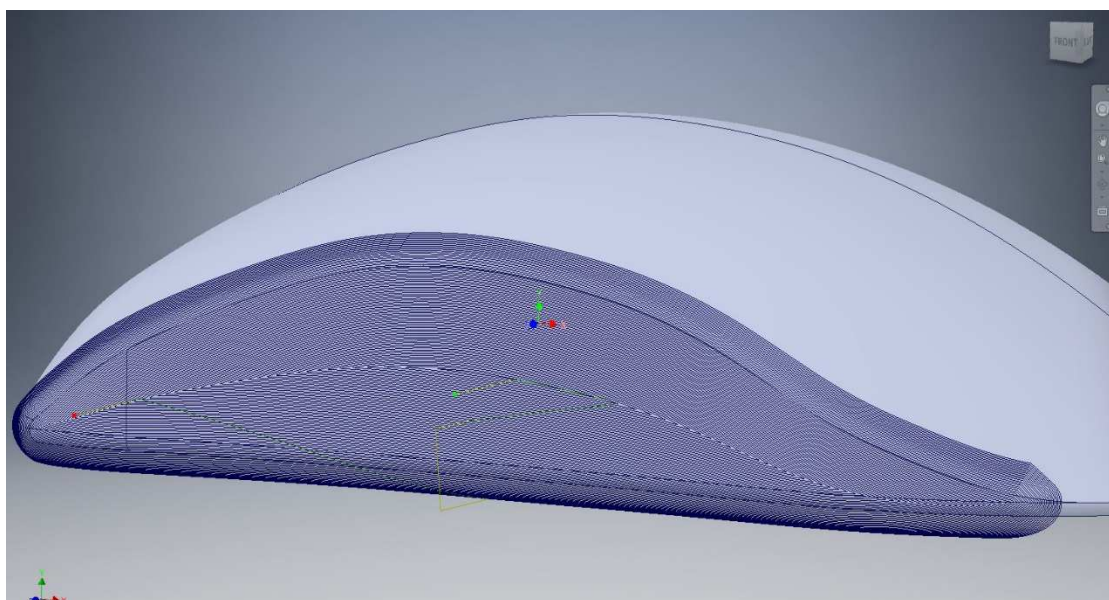
Εικόνα 6.2.15 Όρια κοπής 2

Επιλέγονται οι ρυθμίσεις για τα περάσματα του κοπτικού και τις ανοχές.



Εικόνα 6.2.16 Ανοχές και περάσματα

Ολοκληρώνοντάς τις απαραίτητες ενέργειες, η διαδρομή του κοπτικού έχει την εξής μορφή.

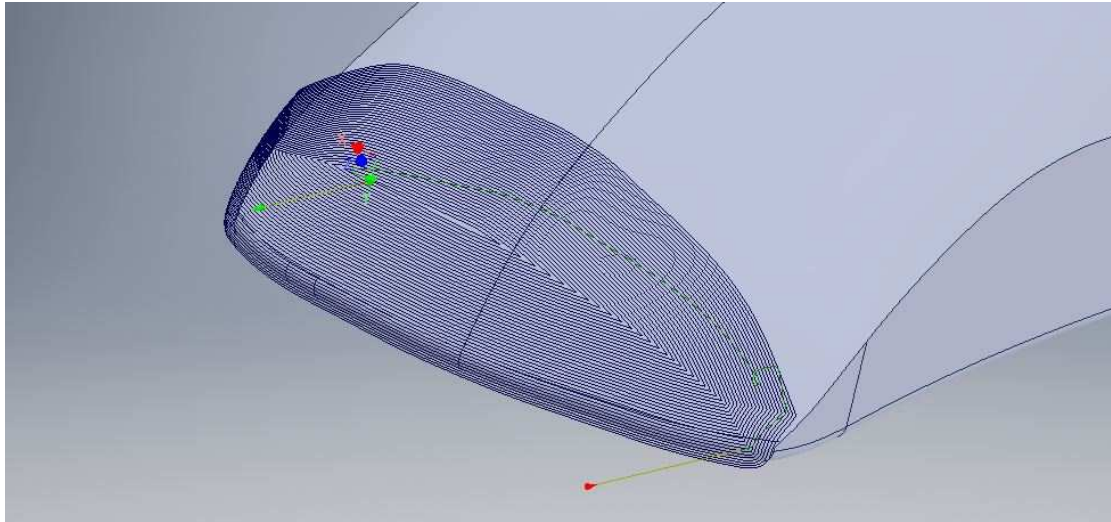


Εικόνα 6.2.17 Πορεία κοπτικού πλάγια

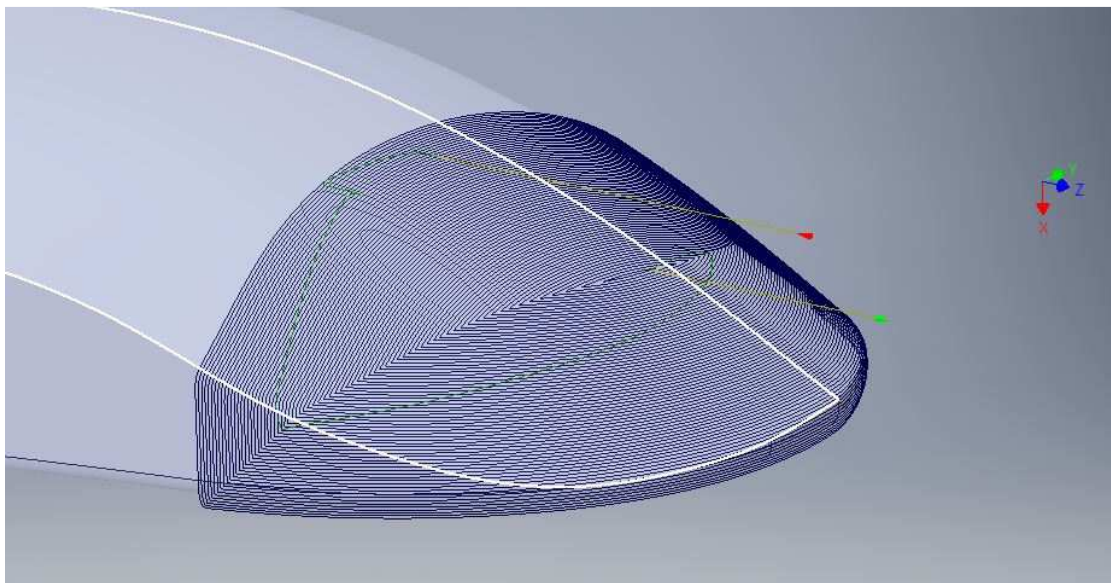
Στα επόμενα βήματα τις κατεργασίας αλλάζει το Setup τοποθετώντας το κοπτικό όπως πριν στην αντίπερα πλάγια όψη, στο μπροστά και πίσω μέρος του κοπτικού, κρατώντας το ίδιο stock.

Επιλέγουμε την εντολή Scallop ρυθμίζοντας το bottom height μέχρι το σημείο που καλύπτεται το Fillet στην κάτω μεριά του μοντέλου και εκτελούμε την εντολή.

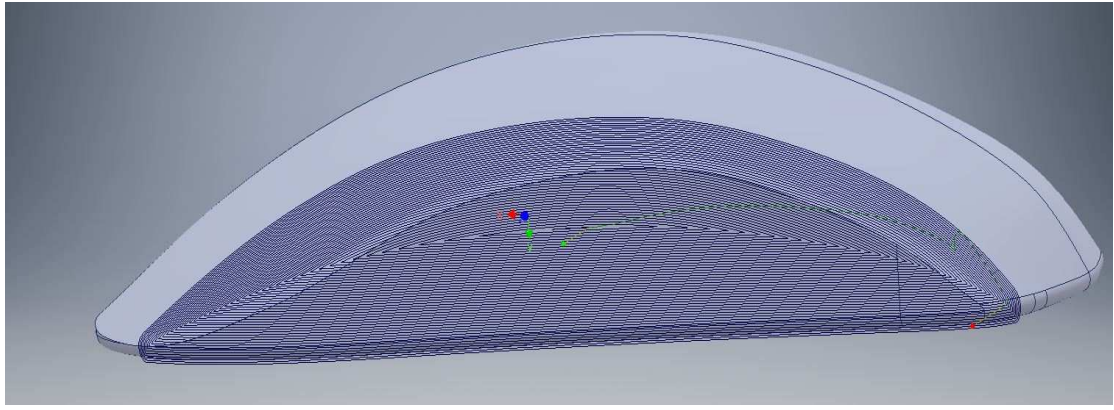
Το αποτέλεσμα ανά περίπτωση θα πρέπει να είναι το εξής:



Εικόνα 6.2.18 Scallop εμπρόσθια όψη



Εικόνα 6.2.19 Scallop πίσω όψη



Εικόνα 6.2.20 Scallor πλάγια όψη 2

7. Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης μελέτης, έγινε κατανοητή η σημαντικότητα της αντίστροφης μηχανικής στη δημιουργία και στη τροποποίηση ενός μοντέλου. Η χρήση της αντίστροφης μηχανικής παρέχει τη δυνατότητα επαναδημιουργίας των χαρακτηριστικών εκείνων του ποντικιού -μοντέλου που το καθιστούν μοναδικό, όπως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και η καμπυλότητά του, για τα οποία δεν υπήρχε εναλλακτικός και επαρκής τρόπος να υπολογιστούν. Η διαδικασία της σάρωσης του, καθώς και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν παρείχαν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάστηκαν, αφού «φωτογραφίζουν» το φυσικό μοντέλο με ακρίβεια όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 5.1-5.8.4. Η ήδη αποτυπωμένη επιφάνεια μεταφράστηκε σε ένα πλέγμα επεξεργάσιμο, το οποίο απέκτησε όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά χαρακτηριστικά με τις μεθόδους της μορφοποίησης (Κεφάλαιο 5.0-5.9.3). Επιπλέον, οι μηχανολογικές κατεργασίες κατέστησαν ικανό τον ακριβή υπολογισμό της πορείας των κοπτικών εργαλείων με απότοκο την ολοκληρωμένη παραγωγή του ποντικιού ως φυσικό μοντέλο (Κεφάλαιο 6-6.2).

Παρατηρώντας λοιπόν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή όλων των διαδικασιών καθώς και από τις δυσκολίες που επιλύθηκαν κατά την πορεία οδηγούμαστε σε συμπεράσματα που αφορούν την χρήση των εργαλείων της αντίστροφης μηχανικής

Αρχικά, γίνεται αντιληπτή η σημαντικότητα της ύπαρξης καλού φωτισμού στο χώρο καθώς στο πρώτο στάδιο της βαθμονόμησης, με ελλιπή φωτισμό, δεν μπορούσαν να αναγνωριστούν με ευκολία οι οπές από την κάμερα του σαρωτή. Αυτό οδήγησε σε επανάληψη της διαδικασίας καθώς η επιφάνεια του μοντέλου κατά την αποτύπωση ήταν θολή και ατελής. Ακόμα μετά από πειράματα και με διωστήρα σκούρου χρώματος οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα πως θα πρέπει το μοντέλο να είναι λευκό και η επιφάνεια αποτύπωσης σκούρα για να φαίνονται οι διαφορές στις επιφάνειες. Έχοντας ήδη βαθμονομήσει το σαρωτή και προχωρώντας στην αποτύπωση του ποντικιού δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση λήψεων περιμετρικά του μοντέλου και ένωση τους καθώς το πρόγραμμα του sIs-scanner δεν επέτρεπε την ένωση συνεχών λήψεων. Αποτέλεσμα αυτού

ήταν η ύπαρξη μίας επιφάνειας η οποία ήταν ελλειπής καθώς χρησιμοποιήθηκε η λήψη που κάλυπτε το μεγαλύτερο μέρος του μοντέλου.

Έχοντας ολοκληρώσει το στάδιο της σάρωσης, στις διαδικασίες δημιουργίας και τροποποίησης των επιφανειών δεν ήταν εφικτό να πραγματοποιηθούν εντολές λόγω του μεγάλου πλέγματος που δημιουργήθηκε καθώς το original mesh size ήταν δυο εκατομμύρια διακόσες ογδόντα οκτώ χιλιάδες τετρακόσια δέκα τρίγωνα που απαρτίζουν την αποτυπωμένη επιφάνεια. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού έγινε αναβάθμιση της ισχύς στα δεκαέξι GB RAM. Για να μπορέσει να δημιουργηθεί μία επιφάνεια χωρίς πολλές ακμές οι οποίες θα αλλοιώνουν το τελικό αποτέλεσμα, κατά την διαδικασία αφαίρεση της σκαναρισμένης επιφάνειας οι ακμές που εμφανίζουν σφάλμα θα πρέπει να αφαιρεθούν και στη συνέχεια να λειανθούν, όπως και η καμπύλη επιφάνεια, με εντολές του Solidworks κατά το Surface Wizard με lasso για μεγαλύτερη ακρίβεια. Κατά την έναρξη της εντολής Surface Wizard το μοντέλο θα πρέπει να κεντραριστεί στους άξονες X,Y,Z καθώς κατά την τροποποίηση των επιφανειών θα αποτελέσει καθοριστικό ρόλο για την δημιουργία παράλληλων επιφανειών για την αποκοπή επιπλέον υλικού. Στον σχεδιασμό των τρισδιάστατων σχεδίων στις πλευρές του ποντικιού όπου δεν υπήρχε επιφάνεια λόγω της αδυναμίας ένωσης λήψεων από το πρώτο βήμα, τα σχέδια θα πρέπει να ακολουθούν τις ακμές που ορίζει το Solidworks έτσι ώστε όταν αποκτήσουν υπόσταση να μην εμφανίζουν αποκλίσεις από την ήδη solid επιφάνεια.

Στις μηχανολογικές κατεργασίες κατά τον ορισμό του προσανατολισμού, θα πρέπει ο άξονας των Z να βρίσκεται πάντα παράλληλα στην πλευρά η οποία θα υποστεί κατεργασία καθώς υπάρχει κίνδυνος πρόσκρουσης του τσόκ πάνω στο μοντέλο με αποτέλεσμα την καταστροφή του δοκιμίου ενώ το stock μοντέλο είναι πάντα μεγαλύτερο τουλάχιστον κατά δέκα χιλιοστά. Κατά την διαδικασία κοπής, η μετατόπιση του κοπτικού ορίζεται στο ένα χιλιοστό αφού τιμές μεγαλύτερες αυτής αφήνουν υλικό του αρχικού stock καθιστώντας την κατεργασία αναποτελεσματική. Όσον αφορά το κοπτικό που χρησιμοποιείται, προτιμάτε το ball nose έναντι κοπτικού με γωνίες καθώς δημιουργεί πιο λεία επιφάνεια. Για την κατεργασία την κάτω πλευράς που είναι επίπεδη χρησιμοποιείται κοπτικό εργαλείο μεγάλης διαμέτρου (πενήντα χιλιοστά) μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο κατεργασίας. Τέλος στα ύψη κοπής, το bottom height ορίζεται δύο με τρία χιλιοστά χαμηλότερα για να εξασφαλιστεί η αφαίρεση υλικού λόγω της καμπυλότητας του κοπτικού.

8.Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Με το πέρας της πτυχιακής εργασίας και από τις δυσκολίες οι οποίες προέκυψαν στην πορεία, υπάρχουν κάποιες προτάσεις για μερική η ολόκληρη επανάληψη της πτυχιακής με διαφορετικές παραμέτρους. Στο πρώτο βήμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μοντέλο χωρίς καμπύλες αλλά με περισσότερες ακμές για να είναι πιο εμφανές το αποτέλεσμα και να είναι πιο ορατές από το scanner. Στο επόμενο βήμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί scanner το οποίο έχει τη δυνατότητα να μετακινηθεί και αν αποτυπώσει περιμετρικά το μοντέλο προς αποτύπωση. Ακόμα ως δοκιμή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά προγράμματα μορφοποίησης και κατεργασίας για πιθανόν καλύτερη ανάλυση επιφάνειας και παράλληλα θα μπορούσε στο βήμα της κατεργασίας να χρησιμοποιηθεί μοντέλο το οποίο έχει σχεδιαστεί και όχι αποτυπωθεί. Τέλος ως μεμονωμένη εργασία, στις διαδικασίες και κατεργασίες που πραγματοποιήθηκαν θα μπορούσαν να εισαχθούν πραγματικά δεδομένα κοπής, πρόωσης, ταχύτητα ροής λιπαντικού και ίσως βελτίωση των ήδη υπάρχων κατεργασιών ενώ θα μπορούσε να γίνει και μελέτη αντοχών στο μοντέλο.

9. Bibliography

LCCN, B., n.d. *Wikipedia*. [Online]

Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Reverse_engineering

Lee, K., 1999. Principles of CAD/CAM/CAE systems. In: Seoul: Pearson Education Inc., pp. 27-29.

Πετούσης, Μ. Α., 2003. 89. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/cad/cad.pdf>

[Πρόσβαση Δεκέμβριος 2003].