



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ & ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

**ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕ Η-Υ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΑΤΙΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΒΕΝΕΤΗΣ ΚΥΠΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:

ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ ΠΡΟΒΑΤΙΔΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχήν ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα τη Διπλωματική μου Εργασία Καθηγητή Ε.Μ.Π. Δρ. Χ. Προβατίδη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση της εκπόνησης της.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Δρ. Μηχανολόγο Μηχανικό Ε.Μ.Π κ. Σταμάτη Πολύδωρα για την αμέριστη και διαρκή βοήθειά του σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της εργασίας μου και για τη μεστή και εμπειριστατωμένη επιστημονική και τεχνική του καθοδήγησή στα θέματα του Ολοκληρωμένου Μηχανολογικού Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Νέων Προϊόντων. Τον ευχαριστώ δε ιδιαίτερος για το χρόνο που αφιέρωσε στην επιμέλεια των κειμένων της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αναφορά και ευχαριστίες οφείλονται και στον Δρ. Μηχανολόγο Μηχανικό Ε.Μ.Π κ. Γεώργιο Καϊσαρλή, για τη λήψη μετρήσεων με τη χρήση της μηχανής CMM DEA Mistral και για τις συμβουλές του σε θέματα ανοχών και διαστασιολογικής ακρίβειας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον κατασκευαστή καλουπιών Α. Βουλγαρέλη για την πολύτιμη βοήθεια του στην επιβεβαίωση παραμέτρων κατασκευής και την προκοστολόγηση εργαλείων παραγωγής.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου οι οποίοι αποτελούν το πρότυπο και το κίνητρό μου, και στηρίζουν τις προσπάθειές και τις επιλογές μου όλα αυτά τα χρόνια σε κάθε τομέα της ζωής μου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο «Βελτίωση βιομηχανοποιημένου οικιακού προϊόντος με τη χρήση προηγμένων μεθόδων ολοκληρωμένου μηχανολογικού σχεδιασμού με Η-Υ σε περιβάλλον CATIA» εκπονήθηκε στο θεσμοθετημένο «Εργαστήριο Ταχείας Κατασκευής Πρωτοτύπων & Εργαλείων (TKΠ & Ε)» της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στα πλαίσια του Μαθήματος «Σχεδιασμός Μηχανολογικών Κατασκευών Ι».

Η εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή, για πραγματικό προϊόν, μεθοδολογίας και μέσων του Ολοκληρωμένου Μηχανολογικού Σχεδιασμού, με αξιοποίηση δυνατοτήτων Η/Υ και εξειδικευμένου λογισμικού μηχανολογικού προσανατολισμού (CAD – CAM – CAE – PLM), που σήμερα εξυπηρετούν αποτελεσματικά το σχεδιασμό προϊόντων και την εν γένει αυτοματοποίηση της παραγωγής τους.

Συγκεκριμένα, βασικό εργαλείο υλοποίησης της εργασίας αποτελεί το λογισμικό CATIA, ένα ισχυρό και ολοκληρωμένο περιβάλλον Product Lifecycle Management (PLM), διεθνώς διαδεδομένο, με τεράστιες δυνατότητες και ήδη μακρόχρονη αξιοποίηση από τη βιομηχανία διεθνώς σε πληθώρα εφαρμογών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΝΕΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	- 1 -
1.1	ΟΡΙΣΜΟΣ	- 1 -
1.2	ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	- 3 -
1.3	ΜΕΘΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	- 4 -
1.4	ΦΩΝΗ ΤΟΥ ΠΕΛΑΤΗ (VOC)	- 8 -
2	ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΜΕΣΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ	- 9 -
2.1	COMPUTER AIDED DESIGN (CAD)	- 9 -
2.2	COMPUTER AIDED MANUFACTURING (CAM)	- 10 -
2.3	COMPUTER AIDED ENGINEERING (CAE)	- 10 -
2.4	ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ PRODUCT DATA MANAGEMENT & PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT (PDM/PLM)	- 11 -
3	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΧΥΤΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ / ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΜΕ ΕΓΧΥΣΗ	- 13 -
3.1	ΓΕΝΙΚΑ	- 13 -
3.2	ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ	- 16 -
4	ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ 3D CAD / PLM CATIA	- 19 -
4.1	ΓΕΝΙΚΑ	- 19 -
4.2	ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ CATIA (APPLICATION TOOLS)	- 20 -
4.3	ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ CATIA	- 21 -
5	ΜΕΛΕΤΩΜΕΝΟ ΠΡΟΪΟΝ	- 29 -
5.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	- 29 -
5.2	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ	- 32 -
5.3	ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ:	- 35 -
6	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	- 36 -
6.1	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΦΩΝΗΣ ΤΟΥ ΠΕΛΑΤΗ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΪΟΝ	- 36 -
6.1.1	<i>Παραδείγματα κριτικής του προϊόντος από κατόχους του</i>	- 36 -
6.2	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΕΛΑΤΩΝ	- 40 -
7	ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΟ ΠΡΟΪΟΝ	- 42 -
7.1	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	- 42 -
8	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	- 43 -
8.1	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ CATIA	- 43 -
8.2	ΑΛΛΑΓΗ ΧΕΙΡΟΛΑΒΗΣ	- 46 -
8.2.1	<i>Αύξηση μήκους</i>	- 46 -
8.2.2	<i>Δημιουργία διαμόρφωσης για την ασφάλιση της χειρολαβής στο σώμα του μύλου.</i>	- 51 -
8.3	ΕΠΑΝΑΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΞΗΣ ΑΝΟΧΩΝ	- 55 -
8.3.1	<i>Μέτρηση και αξιολόγηση αποκλίσεων:</i>	- 57 -
8.4	ΠΡΟΣΘΕΣΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΛΥΤΕΡΟ ΚΡΑΤΗΜΑ ΤΟΥ ΜΥΛΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΛΕΣΗ.	- 64 -
8.5	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ.	- 66 -
8.6	ΑΛΛΑΓΗ ΒΑΣΗΣ (ΚΑΔΟΥ)	- 69 -
8.7	ΑΛΛΑΓΗ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΔΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΥΜΑΤΟΣ	- 70 -
9	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΟΤΥΠΩΝ (DMU) ΤΟΥ	

ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	- 71 -
9.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ	- 71 -
9.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ANIMATION ΠΟΥ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΛΕΞΗΣ ΜΕ ΑΝΘΡΩΠΟΜΟΡΦΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (ΜΑΝΙΚΙΝ)	- 72 -
10 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΛΟΥΠΙΩΝ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ	- 73 -
10.1 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΛΟΥΠΙΩΝ:	- 73 -
11 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΝΕΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	- 75 -
11.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	- 75 -
11.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΟΣΤΟΥΣ	- 75 -
11.2.1 <i>Κοστολόγηση τεμαχίων</i>	- 75 -
11.2.2 <i>Τιμή καινούργιου υλικού</i>	- 76 -
11.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΡΓΟΝΟΜΙΑΣ	- 77 -
11.3.1 <i>Συγκράτηση μύλου</i>	- 77 -
11.3.2 <i>Απαραίτητη δύναμη για την περιστροφή της χειρολαβής</i>	- 77 -
11.4 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	- 77 -
11.4.1 <i>Κλείδωμα χειρολαβής</i>	- 77 -
11.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΣΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΟΤΗΤΑ)	- 78 -
11.6 ΛΟΙΠΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	- 78 -
11.6.1 <i>Μείωση τεμαχίων</i>	- 78 -
11.6.2 <i>Αύξηση χρόνου ζωής του προϊόντος</i>	- 78 -
11.7 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΕΩΝ	- 78 -
12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ & ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ	- 79 -
12.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 79 -
12.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ & ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ	- 79 -
13 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 80 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	- 82 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	- 83 -
<i>Προσφορές για τα υπάρχοντα τεμάχια:</i>	- 83 -
<i>Προσφορές για τα καινούργια τεμάχια</i>	- 92 -

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1.1 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	- 4 -
ΣΧΗΜΑ 1.2 ΔΟΜΗ ΠΙΝΑΚΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (HOQ)	- 5 -
ΣΧΗΜΑ 1.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ QFD	- 6 -
ΣΧΗΜΑ 1.4 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ, ΠΟΥ ΣΥΝΙΣΤΟΥΝ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ QFD	- 8 -
ΣΧΗΜΑ 3.1 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΜΕ ΕΓΧΥΣΗ.	- 13 -
ΣΧΗΜΑ 3.2 ΜΗΧΑΝΗ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΜΕ ΕΓΧΥΣΗ ΤΥΠΟΥ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΟΥΝΤΟΣ ΚΟΧΛΙΑ.	- 14 -
ΣΧΗΜΑ 3.3 ΠΛΗΡΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΜΕ ΕΓΧΥΣΗ ΤΥΠΟΥ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΟΥΝΤΟΣ ΚΟΧΛΙΑ.	- 14 -
ΣΧΗΜΑ 3.4 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΗΤΡΑΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΤΡΙΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ. ΤΟ ΤΗΓΜΑ ΠΕΡΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ (NOZZLE), ΤΟ ΔΙΑΥΛΟ (SPRUE), ΤΟ ΔΡΟΜΕΑ (RUNNER), ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟ ΣΤΙΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (CAVITIES) ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΛΗ ΕΙΣΟΔΟΥ (GATE).	- 15 -
ΣΧΗΜΑ 3.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΠΡΟΪΟΝ.	- 16 -
ΣΧΗΜΑ 3.6 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΙΑ ΟΜΑΛΗ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΠΑΧΟΥΣ.	- 17 -
ΣΧΗΜΑ 3.7 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΥΡΩΝ	- 17 -
ΣΧΗΜΑ 3.8 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΝΕΥΡΟΥ / ΠΑΧΟΥΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ	- 18 -
ΣΧΗΜΑ 3.9 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΛΙΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ.	- 18 -
ΣΧΗΜΑ 4.1 ΛΟΓΟΤΥΠΟ ΤΟΥ CATIA	- 19 -
ΣΧΗΜΑ 4.2 ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ CATIA	- 22 -
ΣΧΗΜΑ 4.3 START MENU	- 23 -
ΣΧΗΜΑ 4.4 ΤΜΗΜΑ ΔΕΝΤΡΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΪΟΝ PART1	- 24 -
ΣΧΗΜΑ 5.1 ΤΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΪΟΝ - HARIO MINI MILL SLIM	- 29 -
ΣΧΗΜΑ 5.2 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΤΟΝ ΜΥΛΟ.	- 34 -
ΣΧΗΜΑ 6.1 ΚΡΙΤΙΚΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΕΛΑΤΗ Α	- 36 -
ΣΧΗΜΑ 6.2 ΚΡΙΤΙΚΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΕΛΑΤΗ Β	- 37 -
ΣΧΗΜΑ 6.3 ΚΡΙΤΙΚΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΕΛΑΤΗ Γ	- 38 -
ΣΧΗΜΑ 8.1 ΥΠΑΡΧΟΝ ΧΕΡΟΥΛΙ ΜΕ ΜΗΚΟΣ 100 ΜΜ	- 46 -
ΣΧΗΜΑ 8.2 ΤΟ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟ ΧΕΡΟΥΛΙ ΜΕ ΜΗΚΟΣ 132 ΜΜ	- 47 -
ΣΧΗΜΑ 8.3 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΥΛΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟ ΧΕΡΟΥΛΙ ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΘΡΩΠΟΜΟΡΦΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥ CATIA	- 48 -
ΣΧΗΜΑ 8.4 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟ ΧΕΡΟΥΛΙ ΑΣΚΩΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΗ ΑΛΕΞΗΣ.	- 50 -
ΣΧΗΜΑ 8.5 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΣΑΡΤΗΣΗΣ ΣΤΟ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟ ΧΕΡΟΥΛΙ.	- 51 -
ΣΧΗΜΑ 8.6 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΣΑΡΤΗΣΗΣ ΣΤΟ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟ ΣΩΜΑ.	- 52 -
ΣΧΗΜΑ 8.7 ΧΡΗΣΗ CMM ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΡΙΒΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	- 56 -
ΣΧΗΜΑ 8.8 ΑΠΟΣΤΑΣΗ: 1,016 ΜΜ	- 60 -
ΣΧΗΜΑ 8.9 ΑΠΟΣΤΑΣΗ: 0,247 ΜΜ	- 61 -
ΣΧΗΜΑ 8.10 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΗ ΣΧΕΣΗ ΑΝΟΧΩΝ - ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ DUPONT	- 61 -
ΣΧΗΜΑ 8.11 ΑΠΟΣΤΑΣΗ: 0,653 ΜΜ	- 62 -
ΣΧΗΜΑ 8.12 ΑΠΟΣΤΑΣΗ: 0,533 ΜΜ	- 63 -
ΣΧΗΜΑ 8.13 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΣΤΟ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟ ΣΩΜΑ	- 65 -
ΣΧΗΜΑ 8.14 ΦΘΟΡΑ ΑΠΟ ΤΡΙΒΗ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ	- 66 -
ΣΧΗΜΑ 8.15 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΒΑΣΗ(ΚΑΔΟΣ).	- 69 -
ΣΧΗΜΑ 8.16 ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΗ (ΚΑΔΟΣ).	- 69 -
ΣΧΗΜΑ 8.17 ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ PROTOMOLD	- 70 -
ΣΧΗΜΑ 9.1 ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (RENDERING) ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΜΕΝΟΥ ΜΥΛΟΥ	- 72 -
ΣΧΗΜΑ 11.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ WS HAMPSHIRE INC. (HTTP://WWW.WSHAMPSHIRE.COM/PLASTIC-PROPERTIES.HTML)	- 76 -

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

ΜΣ: Μηχανολογικός Σχεδιασμός

ΟΜΣ: Ολοκληρωμένος Μηχανολογικός Σχεδιασμός

ΣΜΚ: Σχεδιασμός Μηχανολογικών Κατασκευών

CE: Concurrent Engineering

PDM: Product Data Management

PLM: Product Lifecycle Management

CAD: Computer Aided Design

CAM: Computer Aided Manufacturing

CAE: Computer Aided Engineering

QFD: Quality Function Deployment

HOQ: House of Quality

VOC: Voice of the Customer

1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΝΕΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

1.1 Ορισμός

Μηχανολογικός σχεδιασμός (ΜΣ) είναι η διαδικασία του μετασχηματισμού μιας ιδέας, για επίλυση μιας ανάγκης ή ενός προβλήματος, σε λεπτομερή πληροφορία. Μέσω αυτής το στοιχείο της κατασκευαστικής σύνθεσης, ή η ίδια η σύνθεση ή παραγωγική διαδικασία που ικανοποιεί επιθυμητές ανάγκες μπορεί να κατασκευαστεί. Ο ΜΣ είναι μια δυναμική και εξελισσόμενη διαδικασία. [1]

Κάθε κατασκευή / προϊόν που υλοποιείται διανύει κάποια στάδια από τη σύλληψη της μέχρι και το τέλος της διάρκειας της ζωής της. Ξεκινάει από την καταγραφή των ειδικών και γενικών προδιαγραφών της. Έπειτα καταρτίζεται η κατασκευαστική της σύνθεση. Ακολουθεί ο αναλυτικός ΜΣ, η κατασκευή πρωτοτύπου και οριστικοποίηση των κατασκευαστικών σχεδίων, ο σχεδιασμός και η κατασκευή των εργαλείων και ιδιοσυσκευών και ο σχεδιασμός της παραγωγής. Η διαδικασία περνά στην παραγωγή του προϊόντος και την διάθεση του στο κοινό. Τέλος, αφού φτάσει στο τέλος της διάρκειας ζωής του, περνάει στη φάση της ανάκτησης-αποσυναρμολόγησης-ανακύκλωσης. Αυτά είναι τα στάδια που αποτελούν τον ολοκληρωμένο μηχανολογικό σχεδιασμό (ΟΜΣ). [2]

Στο σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον ο Σχεδιασμός Μηχανολογικών Κατασκευών (ΣΜΚ, engineering design) αποτελεί μια πολυδιάστατη ομαδική συνεργασία μεταξύ διαφορετικών επιστημών. Για παράδειγμα, οι επιστήμες των μηχανολόγων, ηλεκτρολόγων, ηλεκτρονικών, ενίοτε και πολιτικών και χημικών μηχανικών, οικονομολόγων κλπ., συνδυάζονται μεταξύ τους με σκοπό την επίτευξη ενός στόχου. Επιπλέον νέοι σύγχρονοι κλάδοι ειδίκευσης, όπως για παράδειγμα η επιστήμη του αυτομάτου ελέγχου, της ρομποτικής και της ανάπτυξης λογισμικού (control and software engineering), προστίθενται στην παραπάνω λίστα.

Ο σχεδιασμός προϊόντων μπορεί να καταταγεί σε δύο βασικά είδη τον επαναστατικό ή ριζοσπαστικό (innovative design) και τον εξελικτικό (evolutionary design). [3]

Στην περίπτωση κατά την οποία ο σχεδιασμός καταλήγει σε ένα νέο προϊόν που δεν βασίζεται σε προϋπάρχοντα προϊόντα ή βασίζεται σε υπάρχοντα αλλά εφαρμόζει τελείως διαφορετικές τεχνολογίες ή ιδέες για την κατασκευή του τότε μπορούμε να τον ονομάσουμε επαναστατικό σχεδιασμό. Ο επαναστατικός σχεδιασμός καταλήγει σε μια εντελώς νέα ιδέα, τεχνολογία ή νέο προϊόν.

Η βελτίωση ενός προϊόντος είναι ένα άλλο είδος σχεδιασμού. Αυτό ο σχεδιασμός καταλήγει σε προϋπάρχον προϊόν με συγκριτικά πλεονεκτήματα. Ο εξελικτικός σχεδιασμός καταλήγει σε νέο προϊόν ή τεχνολογία που αποτελεί εξέλιξη προϋπάρχοντος προϊόντος ή τεχνολογίας.

Ο Σχεδιασμός Μηχανολογικών Κατασκευών ορίζεται κατά τον Ken Hurst «ως η

ολοκληρωμένη και συστηματική διαδικασία για την επίλυση προβλημάτων, η επίλυση των οποίων δεν έχει προέλθει νωρίτερα, ή ως η εύρεση νέων λύσεων σε προβλήματα, τα οποία προηγουμένως είχαν λυθεί με διαφορετικά κριτήρια». [4] Ο μηχανικός σχεδιασμού και ανάπτυξης χρησιμοποιεί τις νοητικές του ικανότητες με σκοπό να εφαρμόσει επιστημονική γνώση και να διασφαλίσει ότι το προϊόν που σχεδιάζει ανταποκρίνεται σε μια συγκεκριμένη ανάγκη της αγοράς και ότι θα παραχθεί με τον πλέον οικονομικό τρόπο. Η διαδικασία σχεδιασμού και ανάπτυξης δεν ολοκληρώνεται ωστόσο το τελικό προϊόν δοκιμαστεί και βρεθεί εντός των επιτρεπών προδιαγραφών, οι οποίες συχνά καθορίζονται από συγκεκριμένους κανονισμούς.

Οι μηχανικοί παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία αυτή, υφιστάμενοι και οι ίδιοι πίεση στο να βρουν τρόπους να αναπτύξουν και θέσουν σε παραγωγή νέα, ποιοτικότερα προϊόντα, φιλικά προς το περιβάλλον και προσιτά για το ευρύ κοινό σε λογικό κόστος. Τα οποία βέβαια, μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους, να μπορούν σε υψηλό βαθμό να ανακυκλωθούν. Στο πλαίσιο αυτό έχουν τα τελευταία χρόνια αναπτυχθεί και τεθεί σε χρήση από τους μηχανικούς σύγχρονες μέθοδοι για τον Σχεδιασμό Μηχανολογικών Κατασκευών και την Ανάπτυξη Νέων Προϊόντων, υποστηριζόμενες τις περισσότερες φορές από τεχνολογίες πληροφορικής, ηλεκτρονικούς υπολογιστές και λογισμικό. [5]

Ο κύριος στόχος των μηχανικών είναι η εφαρμογή επιστημονικών και τεχνολογικών γνώσεων ώστε να επιλύσουν τεχνικά προβλήματα και να βελτιστοποιήσουν τις λύσεις που δίδονται λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς που σχετίζονται με τα υλικά, τις υπάρχουσες τεχνολογίες, οικονομικά κριτήρια, νομικά ζητήματα, το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Τα διάφορα τεχνολογικά προβλήματα που εμφανίζονται (π.χ. η δημιουργία νέων προϊόντων) γίνονται πιο συγκεκριμένα στους μηχανικούς όταν αυτά αποσαφηνίζονται και καθορίζονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε ατομικό και ομαδικό επίπεδο με κύριο στόχο να υπάρξει μια διεπιστημονική συνεργασία κατά τους κύκλους σχεδιασμού και ανάπτυξης ενός προϊόντος.

Η κύρια σύλληψη, συγκρότηση και ανάπτυξη ενός προϊόντος είναι αρμοδιότητα των μηχανικών σχεδιασμού και ανάπτυξης (design and development engineers), ενώ η τελική απόδοση της φυσικής του υπόστασης του προϊόντος είναι αρμοδιότητα των υπεύθυνων για την παραγωγή μηχανικών (production engineers). [4]

Οι σχεδιαστές συμβάλουν στην εξεύρεση λύσεων και την ανάπτυξη προϊόντων με ένα πολύ συγκεκριμένο τρόπο. Φέρουν ένα βαρύ φορτίο ευθύνης, δεδομένου ότι οι ιδέες, οι γνώσεις και δεξιότητές τους καθορίζουν τις τεχνικές, οικονομικές και οικολογικές ιδιότητες του προϊόντος σε μεγάλο βαθμό.

Ο σχεδιασμός είναι μια ενδιαφέρουσα δραστηριότητα του μηχανικού αφού:

- επηρεάζει σχεδόν όλους τους τομείς της ανθρώπινης ζωής.
- χρησιμοποιεί τους νόμους και τις ιδέες της επιστήμης.

- βασίζεται στην ειδική εμπειρία.
- παρέχει τις προϋποθέσεις για την φυσική υλοποίηση των πιθανών λύσεων που προέρχονται από τις ιδέες.
- απαιτεί επαγγελματική ακεραιότητα και υπευθυνότητα.

Με την ολοκλήρωση του μηχανολογικού σχεδιασμού έχει εκ των προτέρων καθοριστεί το 70 – 75 % του κόστους του νέου προϊόντος. Το γεγονός και μόνο αυτό προβάλλει την καθοριστική σημασία που έχουν η κατασκευαστική σύνθεση και ο μηχανολογικός σχεδιασμός για την εμπορική επιτυχία του. Πολύ περισσότερο μάλιστα αφού το κόστος τους επιβαρύνει μόνο με ποσοστό που δεν υπερβαίνει το 5 - 8 % το τελικό κόστος παραγωγής. Κάθε γραμμή που χαράσσεται στο σχεδιαστήριο, κάθε σχήμα που δημιουργείται από ένα σύστημα CAD, κάθε προδιαγραφή που υιοθετείται δεσμεύει την επιχείρηση με δαπάνες και έχει συνέπειες στην επιτυχία του προϊόντος.

Μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του 1980 η ανάπτυξη και ο σχεδιασμός ενός νέου προϊόντος εξακολουθούσε, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, να γίνεται χωρίς να λαμβάνονται ταυτόχρονα υπόψη οι παράμετροι των μεθόδων και των μέσων παραγωγής και συναρμολόγησης.

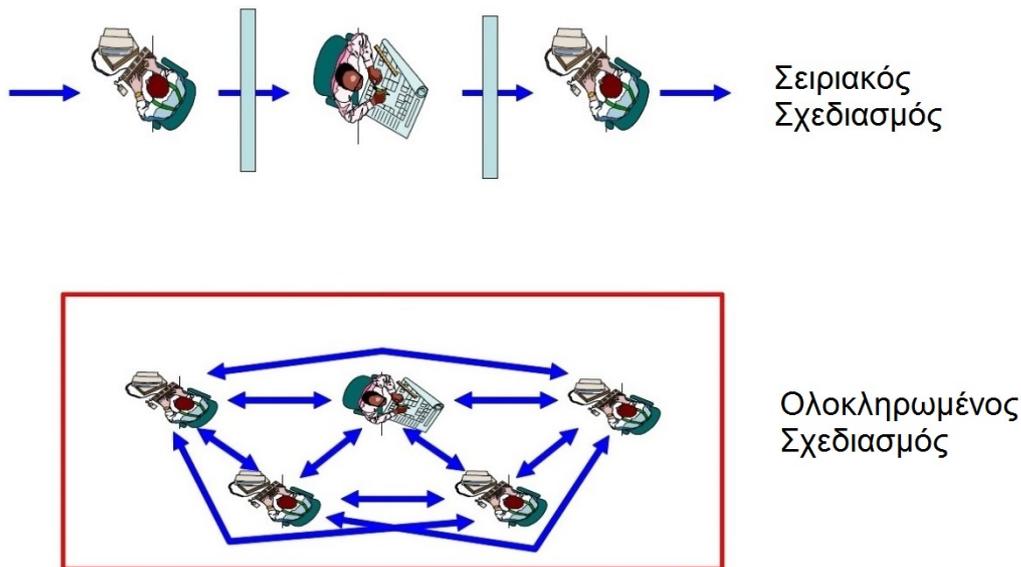
Εξαιτίας του γεγονότος ότι το σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον είναι ουσιαστικά ένα πολυμεταβλητό περιβάλλον στο οποίο συμμετέχουν πολλές επιστήμες και λαμβάνονται υπόψη πολλές παράμετροι όσο αφορά τη σύλληψη, το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την παραγωγή νέων προϊόντων και συστημάτων, αναπτύχθηκαν μεθοδολογίες και τεχνολογίες οι οποίες έχουν σκοπό να συγχρονίσουν και να συνδυάσουν όσο το δυνατόν καλύτερα τους ερευνητές μηχανικούς. [2]

1.2 Σύγχρονος μηχανολογικός σχεδιασμός

Η μέθοδος του ΟΜΣ ή σύγχρονου ΜΣ (concurrent/simultaneous engineering, CE), που είναι και η επικρατούσα τάση στις μέρες μας, είναι μια μεθοδολογία ή οποία βασίζεται στην ταυτόχρονη εξέλιξη των διαφόρων φάσεων σχεδιασμού και ανάπτυξης ενός προϊόντος. [6] Κατά την φάση σχεδιασμού και ανάπτυξης διάφοροι παράμετροι όπως είναι ο μηχανολογικός σχεδιασμός, η κατασκευή και παραγωγή ενός προϊόντος κ.τ.λ. ενοποιούνται με σκοπό να μειώσουν το χρόνο που χρειάζεται για διοχετευθεί στην αγορά ένα νέο προϊόν. Η μέθοδος του ΟΜΣ είναι σχετικά ένα νέο σύστημα διαχείρισης των φάσεων σχεδιασμού και ανάπτυξης (τέλη της δεκαετίας του '80), αλλά με την πάροδο των ετών και υποστηριζόμενος από την ψηφιακή τεχνολογία γίνεται πιο ώριμο και μπορεί να οριστεί καλύτερα με σκοπό να βελτιστοποιηθούν οι διάφορες φάσεις του σχεδιασμού και ανάπτυξης. Η μέθοδος αυτή έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον της βιομηχανίας και έχει εφαρμοστεί από πολλές εταιρείες, οργανισμούς, πανεπιστήμια και κυρίως από την αεροπορική βιομηχανία και την αυτοκινητοβιομηχανία.

Για παράδειγμα, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του ΟΜΣ ο σχεδιασμός των εργαλείων και των μητρώων ενός προϊόντος εξελίσσεται πριν ακόμα οριστικοποιηθούν και

διαστασιολογηθούν τα τελικά σχέδια. Ή ακόμα οι μηχανικοί μπορούν να σχεδιάζουν αναλυτικά στερεά μοντέλα (CAD) πριν ακόμα οριστικοποιηθούν τα μοντέλα επιφανειών του τελικού προϊόντος. Παρόλο που με τη μεθοδολογία αυτή ουσιαστικά δεν μειώνονται οι εργατοώρες που απαιτούνται για την ολοκλήρωση μιας μεμονωμένης φάσης σχεδιασμού ενός προϊόντος, το ίδιο δεν ισχύει για το χρόνο λανσαρίσματος του προϊόντος στην αγορά, ο οποίος μειώνεται δραστικά. Σε αυτή την εξέλιξη συνέβαλαν τα μέγιστα οι Τεχνολογίες Συμπίεσης Χρόνου (Time Compression Technologies, TCT's) και ειδικότερα οι τεχνολογίες CAD/CAM/CAE, στη μεμονωμένη ή μέσω των συστημάτων Product Lifecycle Management (PLM), ενοποιημένη χρήση τους. [2]



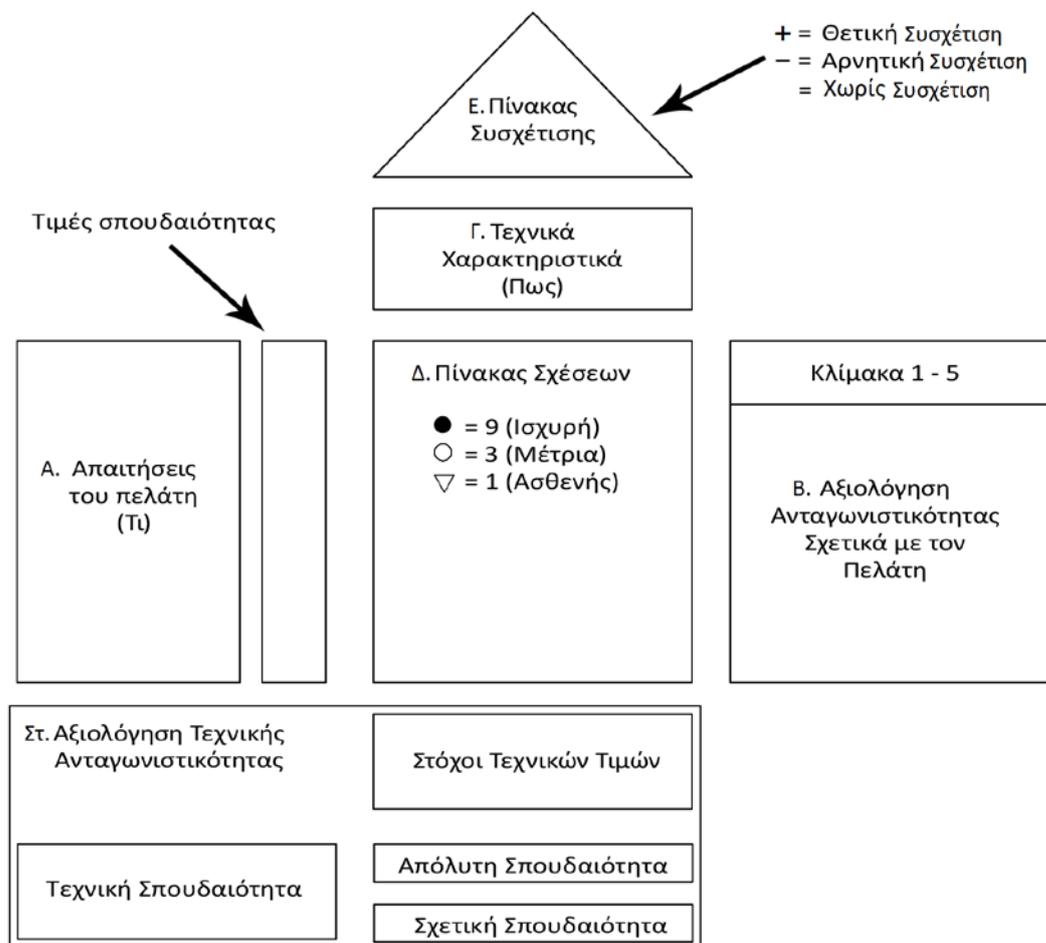
Σχήμα 1.1 Ολοκληρωμένος σχεδιασμός

1.3 Μέθοδος Λειτουργική Ανάπτυξη Ποιότητας

Μέσα στα πλαίσια του ΟΜΣ εφαρμόζεται και η μέθοδος Λειτουργική Ανάπτυξη Ποιότητας (Quality Function Deployment, QFD) ή διαφορετικά Οίκος της Ποιότητας (House of Quality, HOQ). Με την τελευταία επιτυγχάνεται η μετατροπή των αναγκών των καταναλωτών σε μεταβλητές με τεχνικά χαρακτηριστικά. Πρόκειται για μια μεθοδική τεχνική που αναλύει, ιεραρχεί, καταγράφει όλες τις απόψεις – απαιτήσεις των καταναλωτών. Αυτό συμβαίνει ώστε το καινούργιο προϊόν - υπηρεσία να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των καταναλωτών και στη συστηματική ανάπτυξη σχέσεων στις διάφορες φάσεις. Παρέχει τη δομή που απαιτείται σε εταιρείες παροχής υπηρεσιών ώστε να διασφαλίσουν την ποιότητα, την ικανοποίηση του καταναλωτή και κατ' επέκταση να διατηρήσουν το συγκριτικό πλεονέκτημα. Η μέθοδος του QFD βασίζεται στη φιλοσοφία του σχεδιασμού του τελικού προϊόντος / υπηρεσίας μετατρέποντας τις πραγματικές ανάγκες των καταναλωτών σε στοιχεία με τεχνικές προδιαγραφές τα οποία απαιτούνται για τον προσδιορισμό των πραγματικών αναγκών των καταναλωτών και επικεντρώνεται στην δημιουργία αξίας μέσω της εύρεσης των

αντιληπτών και μη, αναγκών των πελατών, και εμπεριέχει στοιχεία δράσης για την ικανοποίηση των αναγκών αυτών, διασφαλίζοντας ότι όλες οι λειτουργικές μονάδες συνεργάζονται συστηματικά με σκοπό την εύρεση δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται ποιοτικά και είναι ελεγχόμενες. Η μέθοδος QFD έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλά πεδία έρευνας όπως της υγείας, εκπαίδευσης, σχεδιασμού υπηρεσιών. Η μέθοδος δύναται να διασφαλίσει την ποιότητα, όπως άλλωστε εκφράζεται και από το όνομα της. Με λίγα λόγια η QFD αξιολογεί τα προϊόντα και τις υπηρεσίες από την οπτική του καταναλωτή και επιπλέον αποτελεί ένα εργαλείο σχεδιασμού και ελέγχου ποιότητας. [7]

Πολλές φορές πολλοί αναφέρονται στο μοντέλο QFD και το αποκαλούν HOQ από το χαρακτηριστικό σχήμα του μοντέλου.



Σχήμα 1.2 ΔΟΜΗ ΠΙΝΑΚΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (HOQ)

Αναλυτικά:

Α. Απαιτήσεις του Πελάτη (WHATs): Η αριστερή εξωτερική πλευρά του σπιτιού αντιπροσωπεύει τις απαιτήσεις του πελάτη (Voice of the Customer, VOC) και προσδιορίζεται με έρευνες αγοράς και άλλες μεθόδους.

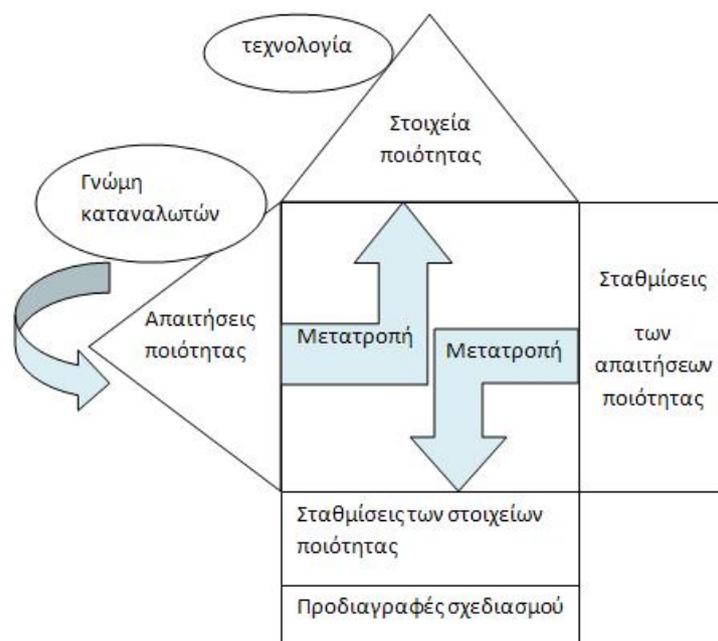
Β. Αξιολόγηση ανταγωνιστικότητας σχετικά με τον πελάτη: Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει ποσοτικά δεδομένα για καθένα από τα χαρακτηριστικά του πελάτη. Τα δεδομένα μπορούν να προέρχονται από έρευνα αγοράς, ανάλυση ανταγωνισμού ή ομάδα αξιολόγησης και χρησιμοποιούνται για να ιεραρχηθούν οι απαιτήσεις του πελάτη.

Γ. Τεχνικά Χαρακτηριστικά (HOWs): Ο πάνω όροφος του σπιτιού περιέχει τις τεχνικές προδιαγραφές που περιγράφουν πώς το προϊόν ή η υπηρεσία μπορεί να επιτύχει τις απαιτούμενες επιδόσεις ή αποτελέσματα σε γενικές γραμμές, χωρίς να αποτελούν εξειδικευμένη τεχνικά λύση και αντιπροσωπεύουν τη φωνή του σχεδιαστή (της επιχείρησης).

Δ. Πίνακας Σχέσεων: Το εσωτερικό του σπιτιού καταλαμβάνει ο βασικός πίνακας που περιγράφει το βαθμό συσχέτισης μεταξύ των απαιτήσεων των πελατών και των τεχνικών προδιαγραφών.

Ε. Πίνακας Συσχέτισης: Η στέγη του σπιτιού, είναι ένας πίνακας στον οποίο αποτυπώνονται ποσοτικά οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τεχνικών προδιαγραφών. Αυτή η διαδικασία μας επιτρέπει να ελέγξουμε σε ποιο βαθμό οι τεχνικές προδιαγραφές μπορεί να είναι αμοιβαία υποστηριζόμενες ή ανταγωνιστικές.

Στ. Αξιολόγηση τεχνικής ανταγωνιστικότητας: Οι τεχνικές προδιαγραφές ιεραρχούνται στο κάτω μέρος του σπιτιού. Η ιεράρχηση γίνεται βάσει των συσχετίσεων μεταξύ των απαιτήσεων των πελατών και των τεχνικών προδιαγραφών. Δεδομένα όπως η συγκριτική τεχνική αξιολόγηση, ο βαθμός τεχνικής δυσκολίας, καθώς και οι τιμές-στόχοι απαριθμούνται και χρησιμοποιούνται για την ιεράρχηση των τεχνικών προδιαγραφών.



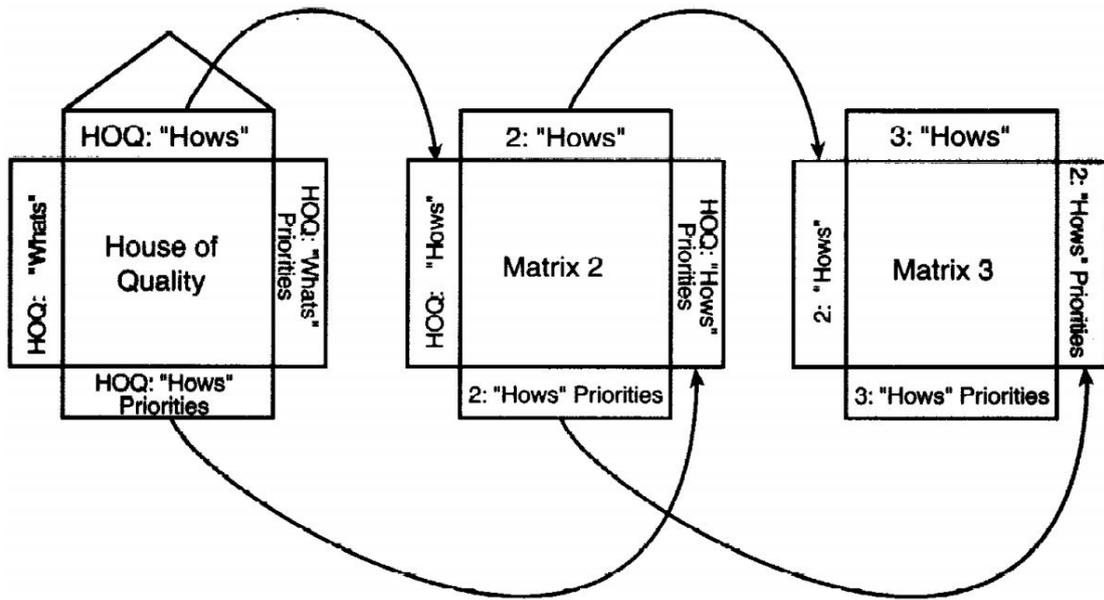
Σχήμα 1.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ QFD

Ένα από τα πλεονεκτήματα από τη χρήση QFD είναι ότι παρέχει ένα σύστημα ασφάλειας της ποιότητας που περιλαμβάνει τη φάση της ανάπτυξης του καινούργιου προϊόντος, έτσι ώστε να μειωθεί ο χρόνος, καθώς το καινούργιο προϊόν σχεδιάζεται χρησιμοποιώντας τις απαιτήσεις ποιότητας όπως εκφράζονται από τους καταναλωτές.

Η χρήση της QFD σε κάθε στάδιο ανάπτυξης του προϊόντος την καθιστά ένα επικοινωνιακό εργαλείο. Η πραγματική αξία της QFD βρίσκεται στην διαδικασία της επικοινωνίας και της λήψης αποφάσεων. Η QFD είναι προσανατολισμένη στη συμμετοχή ανθρώπων από διαφορετικά τμήματα μιας επιχείρησης, όπως από το marketing, το μηχανικό σχεδιασμό προϊόντων (design engineering), τον έλεγχο ποιότητας, την παραγωγή, τα χρηματοοικονομικά κ.α.. Η ενεργός συμμετοχή όλων αυτών των τμημάτων κατά την ανάπτυξη ενός προϊόντος συνεισφέρει στην ορθή εκτίμηση των απαιτήσεων των πελατών σε κάθε στάδιο της διαδικασίας και την επικοινωνία “κρυμμένων” πληροφοριών μεταξύ των τμημάτων, που σε άλλη περίπτωση δεν θα γινόταν γνωστές.

Η μέθοδος QFD είναι ένα εργαλείο που δεν είναι κατάλληλο μόνο για την φάση του σχεδιασμού ενός προϊόντος. Είναι ένα εργαλείο που μπορεί και πρέπει να χρησιμοποιείται σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης του προϊόντος. Η χρήση της QFD από την αρχική φάση, μπορεί να επιμηκύνει τη διάρκεια της φάσης του προγραμματισμού, αλλά συνολικά μειώνει το κύκλο ανάπτυξης του προϊόντος, μέχρι αυτό να βγει στην αγορά [8]. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί και ως εξής: από τη στιγμή που αρχικά δαπανάται περισσότερος χρόνος στη συλλογή επαρκών στοιχείων για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών, στη συνέχεια θα χρειαστεί πολύ λιγότερος χρόνος για να επανασχεδιαστεί ή να τροποποιηθεί κάποιο προϊόν ή κάποια διαδικασία.

Σε πολλές περιπτώσεις, για την υλοποίηση της μεθόδου, επαναλαμβάνεται η διαδικασία της σύνθεσης του HOQ αρκετές φορές και ξεκινώντας αρχικά από τις επιθυμίες του πελάτη καταλήγουμε σε συμπεράσματα για το πόσο επηρεάζονται από πρωτογενείς παραμέτρους του σχεδιασμού του προϊόντος όπως είναι η επιλογή υλικών, η ρύθμιση των μηχανημάτων κτλ. Στο σχήμα φαίνεται πώς επιτυγχάνεται η σύνδεση μεταξύ των διαφόρων πινάκων.



Σχήμα 1.4 Σύνδεση μεταξύ των διαφόρων πινάκων, που συνιστούν την μέθοδο QFD

1.4 Φωνή του πελάτη (VOC)

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για την καταγραφή του VOC. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από τον απαιτούμενο τύπο και την επιθυμητή έκταση των πληροφοριών, καθώς και το κόστος συλλογής δεδομένων. Σε οποιαδήποτε μέθοδο συλλογής πληροφοριών είναι αναγκαίο τα δεδομένα να αντανακλούν τις προτιμήσεις και επιθυμίες του πελάτη. [9]

Μερικές απ' αυτές τις μεθόδους είναι η συλλογή παραπόνων, γραπτών ή προφορικών, συνεντεύξεις, συμπλήρωση ερωτηματολογίων κτλ.

2 ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΜΕΣΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

Κατά την ενάσκηση του ΟΜΣ στη σύγχρονη μορφή του, ιδιαίτερα τις τελευταίες δύο δεκαετίες, αξιοποιούνται κατά κόρον η σχεδίαση και η δημιουργία ψηφιακών γεωμετρικών μοντέλων των προϊόντων, των επιμέρους εξαρτημάτων τους και των απαραίτητων εργαλείων παραγωγής τους σε περιβάλλον Η-Υ. Η διαδικασία αυτή επιτελείται μέσω λογισμικού Computer Aided Design (CAD) 3 διαστάσεων (3D CAD).

Παράλληλα με τη σχεδίαση, άλλα βασικά «κλειδιά» στον κύκλο σχεδιασμού και ανάπτυξης ενός προϊόντος είναι οι μέθοδοι παραγωγής (manufacturing) και η ανάλυση κατασκευών (engineering analysis). Σε επίπεδο διατιθέμενων υπολογιστικών εργαλείων σε περιβάλλον Η-Υ για αυτά, ο όρος computer aided manufacturing (CAM) σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο θα κατασκευαστεί και θα παραχθεί μαζικά ένα προϊόν, ενώ ο όρος computer aided engineering (CAE) σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο αυτό θα αναλυθεί/μελετηθεί. Παρόλο που οι τεχνολογίες CAM/CAE/CAD εξελίχθηκαν μεμονωμένα και σχετικά ανεξάρτητα, είναι όλες τους τεχνολογίες που βασίζονται σε υπολογιστικά μοντέλα και εστιάζουν στην ανάπτυξη και παραγωγή ενός προϊόντος. Τα δε τελευταία χρόνια είναι δυνατόν να υφίστανται σε ενοποιημένο περιβάλλον (συστήματα PLM - Product Lifecycle Management). Είναι κατανοητό ότι η μεταξύ τους ενοποίηση και η ομαλή ενσωμάτωση αυτών των υποστηρικτικών τεχνολογιών με τη χρήση Η-Υ στην ανάπτυξη και παραγωγή νέων προϊόντων είναι ένας βασικός στόχος για πολλές εταιρείες που ασχολούνται με την δημιουργία συναφούς λογισμικού. Συνοπτικές πληροφορίες για τα λογισμικά αυτά εργαλεία δίνονται παρακάτω. [10]

2.1 Computer Aided Design (CAD)

Ο όροι CAD (Computer Aided Design) και CADD (Computer Aided Design and Drafting), δηλαδή η σχεδίαση με τη βοήθεια Η-Υ, αποτελούν τις πιο σύγχρονες μεθόδους σχεδίασης. Είναι οι αντικαταστάτες των συμβατικών μέσων και οργάνων σχεδίασης, όπως μολύβια, κανόνες, τρίγωνα, διαβήτες κ.λπ. Ο όρος CAD έχει επικρατήσει διεθνώς ως αντιπροσωπευτικός τόσο της κυρίως σχεδίασης με Η-Υ (drafting), όσο και των μεθόδων σχεδιασμού που υποστηρίζονται από Η-Υ (design). Οι τεχνολογίες CAD χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την βελτιστοποίηση προϊόντων, τα οποία πωλούνται άμεσα στους τελικούς χρήστες ή αποτελούν τμήμα άλλων προϊόντων. [10]

Η χρήση τεχνολογιών CAD είναι πολύ διαδεδομένες επίσης στο σχεδιασμό εργαλείων παραγωγής και τη σχεδίαση/κατασκευή εξαρτημάτων μηχανισμών (design), όπως επίσης στη σχεδίαση κατοικιών, βιομηχανικών μονάδων κ.τ.λ. (drafting). Οι τεχνολογίες CAD είναι ιδιαίτερα ωφέλιμες, λόγω του ότι μειώνουν το χρόνο σχεδίασης και μελέτης ενός προϊόντος και προσδίδουν ευκολία και ευελιξία

στις αλλαγές και τροποποιήσεις, κάτι το οποίο τελικά συνεπάγεται τη συνολική μείωση του συνολικού κόστους σχεδιασμού.

2.2 Computer Aided Manufacturing (CAM)

Είναι η τεχνολογία λογισμικών, που εκτελούνται από υπολογιστικά συστήματα και καταστρώνουν, διαχειρίζονται και ελέγχουν παραγωγικές διαδικασίες. Οι πιο βασικές εφαρμογές της τεχνολογίας CAM περιλαμβάνουν αριθμητικό έλεγχο NC (Numeric Control), ρομποτικό έλεγχο και προετοιμασία μεθόδων και γραμμών παραγωγής (computer aided process planning, CAPP).

Η τεχνολογία NC είναι αυτή η οποία χρησιμοποιεί προγραμματιστικά εργαλεία, για να ελέγξει λειαντικές, κοπτικές, διατρητικές κ.α. εργαλειομηχανές. Ο ρομποτικός έλεγχος αναφέρεται στη χρήση ρομπότ, τα οποία επιλέγουν και τοποθετούν τα εργαλεία και τα προς κατεργασία τεμάχια στις μηχανές NC. Λαμβάνοντας δεδομένα από το κατασκευαστικό σχέδιο, το process planning είναι η διαδικασία με την οποία περιγράφονται αναλυτικά οδηγίες που σχετίζονται με τον τύπο και την αλληλουχία των παραγωγικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα, ώστε να παραχθεί ένα τελικό προϊόν σε μια βιομηχανία. Τα CAPP συστήματα περιλαμβάνουν λογισμικά που αυτοματοποιούν την ανάπτυξη των παραγωγικών διαδικασιών μιας βιομηχανίας. [10]

2.3 Computer Aided Engineering (CAE)

Είναι η τεχνολογία που απαρτίζεται από λογισμικά που προβαίνουν σε υπολογιστική ανάλυση ενός προϊόντος ή μιας κατασκευής βασιζόμενα στην υφιστάμενη στον H-Y γεωμετρία τους και σε καθιερωμένες επιστημονικές μεθόδους (FEA, FEM, CFD) και επιτρέπουν στο σχεδιαστή να προσομοιώνει και να μελετά τη συμπεριφορά ενός προϊόντος, με σκοπό να το βελτιστοποιήσει σχεδιαστικά πριν αυτό παραχθεί. Οι τεχνολογίες CAE υποδιαιρούνται στους παρακάτω τομείς :

- Ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων FEA (Finite Element Analysis) για κατασκευαστική και θερμική ανάλυση μεμονωμένων εξαρτημάτων και συναρμολογούμενων συνόλων.
- Υπολογιστική μηχανική ρευστών CFD (Computational Fluid Dynamics) για θερμική και ροϊκή ανάλυση ρευστών.
- Κινηματική ανάλυση (Kinematics) για καθορισμό τροχιών κίνησης και εύρεσης ταχυτήτων συνδέσμων μηχανισμών.
- Λογισμικά ανάλυσης μεγάλων μετατοπίσεων (Large Displacement Analysis) για την εύρεση φορτίων και μετατοπίσεων σε σύνθετα συναρμολογούμενα σύνολα, π.χ. οχήματα, αεροσκάφη κλπ.
- Προγραμματιστικά εργαλεία αυτοματοποιημένης βελτιστοποίησης και σχεδίασης.

- Εργαλεία παραγωγικής και κατασκευαστικής ανάλυσης (manufacturing tools) για προσομοίωση διαφόρων κατεργασιών (π.χ. χύτευση, molding, die press forming). [10]

2.4 Ενοποιημένα Περιβάλλοντα σχεδιασμού Product Data Management & Product Lifecycle Management (PDM/PLM)

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες αναπτύχθηκαν κάποιες πολύ σημαντικές τάσεις για συγχώνευση των τεχνολογιών CAD/CAM/CAE και αντίστοιχων εταιριών παραγωγής λογισμικού.

Με τη διάδοση χρήσης τεχνολογιών τύπου CAD/CAM/CAE ανέκυψε παράλληλα και το ζήτημα της διαχείρισης του όγκου των δεδομένων. Επίσης, μέσα στα πλαίσια του ΟΜΣ, έπρεπε να αντιμετωπισθεί και το ζήτημα της ταυτόχρονης ενασχόλησης σε ενιαίο επίπεδο πολυπληθών σχεδιαστικών ομάδων που απασχολούνταν σε ένα έργο (project), με αναφορά όλων σε κοινή ενημερωμένη βάση. Σαν λύση σε αυτό το θέμα οι εταιρείες ξεκίνησαν να αναπτύσσουν λογισμικά PDM, τα οποία οργανώνουν τα δεδομένα των υπό μελέτη προϊόντων σε βάσεις δεδομένων. Τα δεδομένα που αποθηκεύονται μπορεί είναι αρχεία CAD ή σχέδια μαζί και με σχετικά έγγραφα (documents). Οι βασικές δυνατότητες των λογισμικών PDM περιλαμβάνουν:

- Ασφαλή αποθήκευση των δεδομένων (αρχεία CAD κ.τ.λ.) σε ένα κεντρικό αρχείο (vault).
- Τη δυνατότητα εντοπισμού και ελέγχου των αποθηκευμένων δεδομένων.
- Εργαλεία ταχείας αναζήτησης και προεπισκόπησης των δεδομένων.
- Εργαλεία διαχείρισης, δικαιωμάτων χρήσης και διανομής των αρχείων μέσα στις ομάδες εργασίας.
- Εργαλεία διαχείρισης και ελέγχου των εκδόσεων των αρχείων.
- Εργαλεία προεπισκόπησης και επισημάνσεων.

Στην αναζήτηση για περαιτέρω ενοποίηση των τεχνολογιών CAD/CAM/CAE και PDM και παράλληλα με την πλήρη υιοθέτηση των εννοιών του ΟΜΣ παγκοσμίως, χρησιμοποιείται πλέον και ο όρος PLM. Τα λογισμικά PLM μπορούν να γίνουν αντιληπτά ως η καθολική συγχώνευση όλων των παραπάνω εργαλείων με μεθόδους, εμπλεκόμενα πρόσωπα και διαδικασίες από όλα τα στάδια της ανάπτυξης, παραγωγής, κύκλου ζωής, τέλους ζωής και απόρριψης - ανακύκλωσης ενός προϊόντος (product life). Στην πραγματικότητα είναι ένα γενικό πλαίσιο, το οποίο περιλαμβάνει τον σχεδιασμό (design), την παραγωγική διαδικασία, μαζί με τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες επικοινωνίας ανταλλαγής και διαμοιρασμού πληροφοριών. Το PLM είναι ένα πλαίσιο προσέγγισης για καινοτομία, ανάπτυξη και διάθεση νέων προϊόντων, καθώς επίσης και συλλογή και διαχείριση πληροφοριών του προϊόντος από τη σύλληψη της ιδέας μέχρι το τέλος του βίου του. Επίσης, έχει πάντα στο κέντρο της προσοχής του το προϊόν.

Το PLM λογισμικό και υπηρεσίες σχεδιάστηκαν με στόχο να κάνει ικανό το χρήστη

να εξομοιώσει, σε ένα 3D συνεργατικό περιβάλλον, ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, από το στάδιο της σύλληψης της ιδέας μέχρι την ανάπτυξη, κατασκευή και χρήση σε λειτουργία.

Αυτές οι PLM λύσεις διευκολύνουν την ταυτόχρονη σύμπραξη πολλών διαφορετικών λειτουργιών που εμπλέκονται στο PLM: μηχανική, στρατηγική, αγορά και πωλήσεις, προγραμματισμός και παραγωγή, προμήθεια, οικονομικά και ανθρώπινο δυναμικό καθ' όλη τη διάρκεια της εφοδιαστικής αλυσίδας. [11]

Τα πλεονεκτήματα της PLM προσέγγισης στο κύκλο ζωής των προϊόντων είναι τα εξής:

- Το προϊόν φθάνει πιο γρήγορα στην αγορά.
- Βελτιώνεται η ποιότητα του προϊόντος.
- Μειώνεται το κόστος κατασκευής πρωτοτύπων.
- Εξοικονόμηση από επαναχρησιμοποίηση αρχικών δεδομένων.
- Διαμόρφωση πλαισίου βελτιστοποίησης του προϊόντος.
- Εξοικονόμηση από μείωση φύρας.
- Εξοικονόμηση από τη πλήρη ολοκλήρωση του κύκλου εργασιών του μηχανικού.

Μια από τις πρωτοπόρες εταιρίες λογισμικού μηχανολογικής κατεύθυνσης που πρώτη ανέπτυξε, παρουσίασε και υποστηρίζει ως σήμερα πέραν από λύσεις CAD / CAM / CAE και ολοκληρωμένες λύσεις PDM / PLM είναι η Γαλλική Dassault Systèmes (DS), με το προϊόν εμπορικής ονομασίας CATIA, που στις σύγχρονες εκδόσεις τους μπορεί πλήρως να αξιοποιηθεί ως εργαλείο PLM, σε σύμπραξη και συνεργασία και με άλλες σχετικές πλατφόρμες της εταιρίας (π.χ. Eponia).

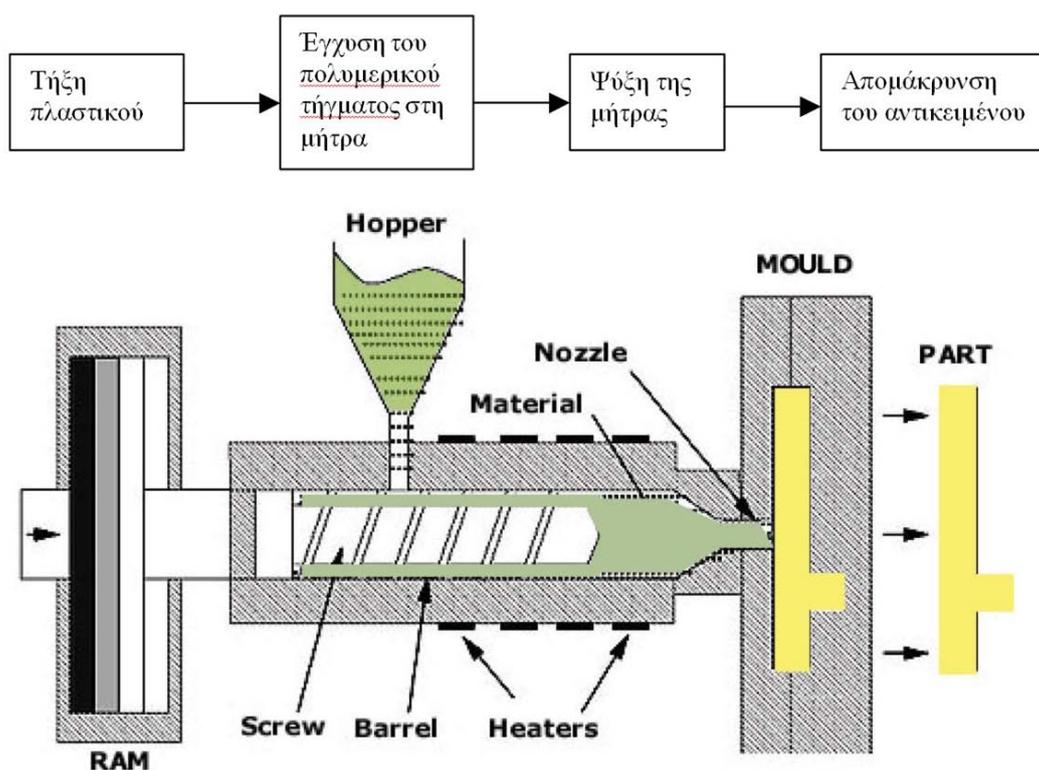
Το λογισμικό CATIA αποτέλεσε βασικό εργαλείο της παρούσας εργασίας και παρουσιάζεται αναλυτικότερα σε επόμενα κεφάλαιο.

3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΧΥΤΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ / ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΜΕ ΕΓΧΥΣΗ

3.1 Γενικά

Η διεργασία χύτευσης με έγχυση πολυμερικών τηγμάτων είναι μια μορφοποιητική μέθοδος παραγωγής που χρησιμοποιείται κατά κόρον στη βιομηχανία για την παραγωγή παντός είδους αντικειμένων που παλαιότερα γίνονταν κυρίως από μέταλλα. Αντικείμενα που παράγονται με έγχυση σε μήτρες χύτευσης (καλούπια) συμπεριλαμβάνουν από συνδετήρες χαρτιών μέχρι προφυλακτήρες αυτοκινήτων, και από κύπελλα καφέ μέχρι περιβλήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών. Λόγω της τρομερής ευχρηστίας, ευελιξίας, και ολικού βιομηχανικού όγκου πλαστικών που παράγονται με τη διεργασία αυτή, αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές διεργασίες μορφοποίησης πλαστικών που υπάρχουν σήμερα.

Αναφορικά με τα βασικά στάδια της διεργασίας, η χύτευση με έγχυση μπορεί να παρουσιαστεί σχηματικά όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1:

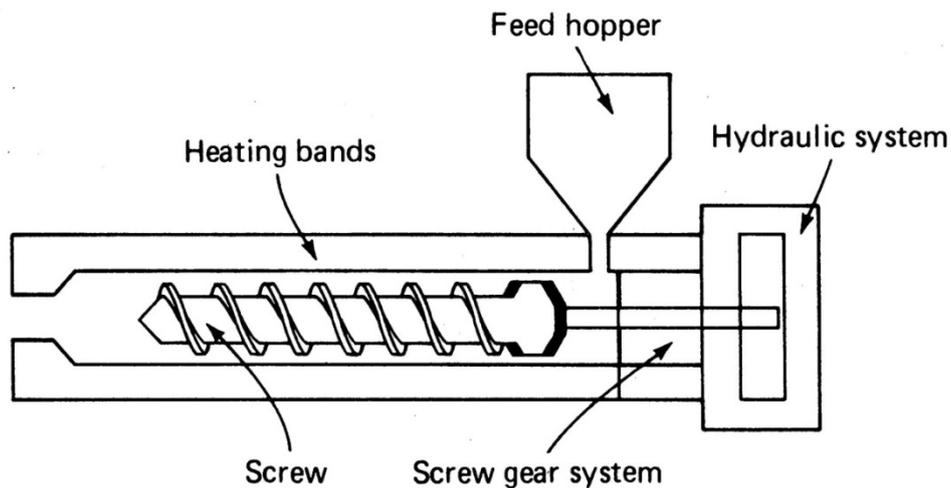


Σχήμα 3.1 Σχηματική αναπαράσταση των διαφόρων σταδίων της διεργασίας χύτευσης με έγχυση.

Η διαδικασία αρχίζει με την τροφοδοσία της χοάνης με κόκκους ή σκόνη του πολυμερούς. Εκεί το πολυμερές μεταφέρεται από τον κοχλία μέσα στη θερμαινόμενη περιοχή όπου γίνεται τήξη του. Ακολούθως, ωθείται προς τα εμπρός από έμβολο,

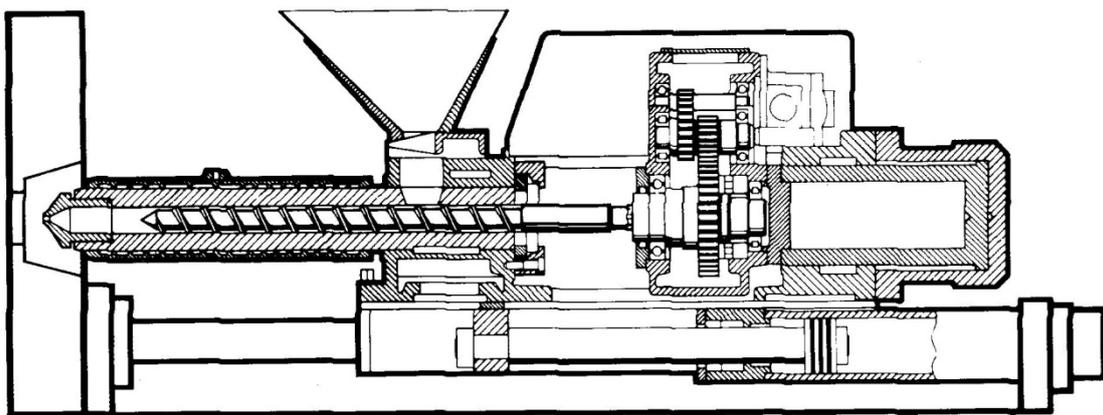
όπου συγκλίνει και ρέει μέσα από ακροφύσιο που το οδηγεί στη μήτρα έγχυσης. Η έγχυση γίνεται κάτω από υψηλή πίεση. Η μήτρα ψύχεται για τη στερεοποίηση του προϊόντος, κατόπιν ανοίγει, και το τελειωμένο πλαστικό αντικείμενο εκβάλλεται. Η μήτρα κλείνει και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. [12]

Πιο κοινή στις σημερινές χρήσεις είναι η μηχανή τύπου παλινδρομούντος κοχλία (reciprocating screw), όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 3.2 Μηχανή χύτευσης με έγχυση τύπου παλινδρομούντος κοχλία.

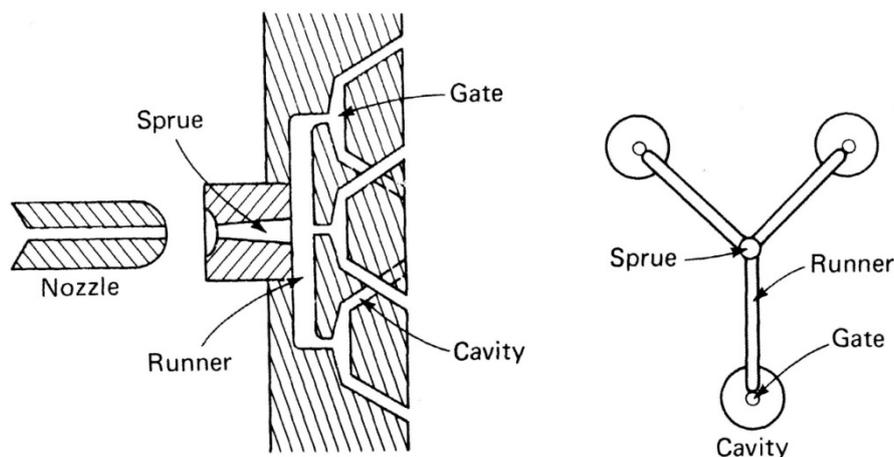
Στο σύστημα αυτό η λειτουργία του κοχλία είναι κυρίως να τήξει και να αναμίξει το υλικό της τροφοδοσίας. Για την έγχυση ολόκληρος ο κοχλίας κινείται προς τα εμπρός, ενώ αντεπίστροφη βαλβίδα δεν επιτρέπει ροή προς τα πίσω.



Σχήμα 3.3 Πλήρης εσωτερικός σχεδιασμός μηχανής χύτευσης με έγχυση τύπου παλινδρομούντος κοχλία.

Το υλικό μεταφέρεται από τη μηχανή χύτευσης προς τη μήτρα έγχυσης μέσα από το

ακροφύσιο, το οποίο είναι άμεσα ζευγμένο με τη μήτρα μέσω του διαύλου. Σε μήτρες με πολλαπλές κοιλότητες (cavities), το θερμό τήγμα μεταφέρεται σε κάθε μήτρα από τους δρομείς (runners). Κάθε δρομέας συνδέεται με την κοιλότητα που τροφοδοτεί με την πύλη εισόδου (gate), που δεν είναι άλλο από μια στένωση στο κανάλι ροής. [12]



Σχήμα 3.4 Σχηματική παράσταση μήτρας χύτευσης τριών στοιχείων. Το τήγμα περνά από το ακροφύσιο (nozzle), το διάυλο (sprue), το δρομέα (runner), εισερχόμενο στις κοιλότητες της μήτρας (cavities) από την πύλη εισόδου (gate).

Η πλήρωση της μήτρας συμβαίνει σε μικρούς σχετικά χρόνους συγκρινόμενη με τον ολικό χρόνο του κύκλου παραγωγής του προς χύτευση αντικείμενου. Με το τέλος της πλήρωσης, αρχίζει ο κύκλος ψύξης. Καθώς το πολυμερικό τήγμα στερεοποιείται, η πυκνότητά του αυξάνει λίγο, και αν η μάζα του υλικού στην κοιλότητα ήταν σταθερή, θα μειωνόταν ο όγκος. Αυτό θα οδηγούσε στη συρρίκνωση (shrinkage) του αντικείμενου και στην επακόλουθη αλλαγή της γεωμετρίας του σε σχέση με τη γεωμετρία της μήτρας, γεγονός ανεπιθύμητο. Και αν μεν η συρρίκνωση ήταν ομοιόμορφη, θα μπορούσε κανείς να σχεδιάσει τη μήτρα λίγο μεγαλύτερη παντού και να λύσει το πρόβλημα. Δυστυχώς, το μη-ισοθερμοκρασιακό πεδίο που υπάρχει τόσο για το πολυμερικό τήγμα όσο και για τα τοιχώματα της κοιλότητας, δεν επιτρέπουν μια απλή αναλογική επίλυση του προβλήματος.

Επιπλέον, εκτός από τις πιο απλές γεωμετρίες μητρών, περιοχές διαφορετικού πάχους στο χυτευμένο αντικείμενο ψύχονται με διαφορετικούς ρυθμούς, γεγονός που οδηγεί σε διαφορετικούς βαθμούς συρρίκνωσης, και το οποίο στη συνέχεια μπορεί να οδηγήσει σε σκέβρωση (warpage) του αντικείμενου. Για να ελαχιστοποιηθούν οι μεταβολές των διαστάσεων (συρρίκνωση) και οι μεταβολές σχήματος (σκέβρωση), χρησιμοποιείται πολύ υψηλή πίεση στην κοιλότητα κατά τη διάρκεια του κύκλου ψύξης. Γι' αυτό και η διεργασία αυτή δίνει χυτά διαστασιακής ακρίβειας. Καθώς η πυκνότητα του ψυχομένου πολυμερούς αυξάνει, περισσότερο τήγμα ρέει μέσα στην κοιλότητα για να κρατήσει σταθερό τον όγκο. Αυτό μπορεί να συνεχίζεται μέχρι η πύλη εισόδου να στερεοποιηθεί πλήρως από την ψύξη.

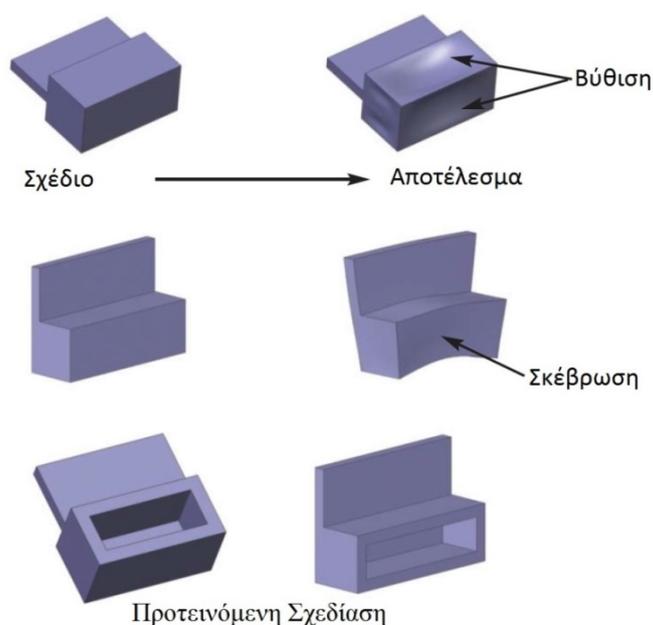
Όταν ανοίγει η μήτρα και εκβάλλεται το αντικείμενο, μετά τη πλήρωση κάθε κοιλότητας και τη στερεοποίηση του πλαστικού κατά τον κύκλο ψύξης, τα διάφορα αντικείμενα είναι συνήθως ακόμα συνδεδεμένα μεταξύ τους με το στερεοποιημένο υλικό που γέμιζε τους δρομείς. Το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει αποχωρίζεται από το δρομέα στην πύλη εισόδου. Το μέγεθος και η θέση της πύλης σχεδιάζεται έτσι ώστε να απλοποιεί και να διευκολύνει τις ατέλειες που παρουσιάζονται όταν αποχωρίζεται το αντικείμενο από τις διασυνδέσεις του με τους δρομείς. Τα διάφορα τεμάχια που απομένουν στους δρομείς αποτελούν απορρίμματα και τις περισσότερες φορές ανακυκλώνονται στην τροφοδοσία.

Βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ο σημαντικός χρόνος του κύκλου της κατεργασίας (1-5 λεπτά) και το υψηλό κόστος των καλουπιών. Οι τυπικές θερμοκρασίες χύτευσης για τα θερμοπλαστικά κυμαίνονται μεταξύ 150 και 350 °C, ενώ οι απαιτούμενες πιέσεις είναι υψηλές, της τάξεως των 120 MPa. [13, 14]

3.2 Εμπειρικοί κανόνες σχεδίασης

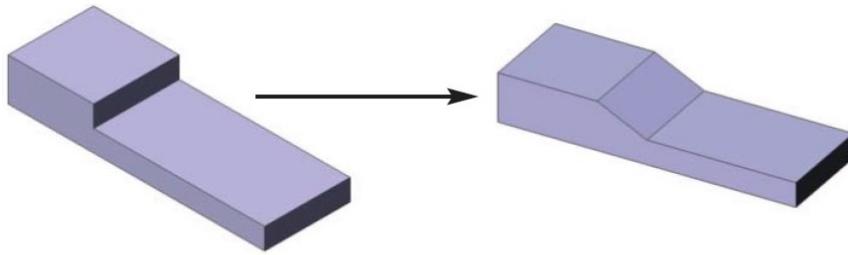
Για το σχεδιασμό των αντικειμένων που δημιουργούνται με την διαδικασία χύτευσης με έγχυση απαιτείται να ακολουθούνται κάποιοι εμπειρικοί κανόνες σχεδίασης για να αποφεύγονται οι ανωμαλίες στο αντικείμενο με αποτέλεσμα την απόσυρσή τους. [15]

Πάχος τοιχώματος: Η πιο σημαντική σχεδιαστική απαίτηση για την ελαχιστοποίηση των ανωμαλιών από την χύτευση είναι η διατήρηση ομοιόμορφου πάχους τοιχώματος.



Σχήμα 3.5 Παραδείγματα επίδρασης του πάχους τοιχώματος στο τελικό προϊόν.

Αλλαγή πάχους: Η ομαλή αλλαγή πάχους μειώνει τις τάσεις παραμόρφωσης.

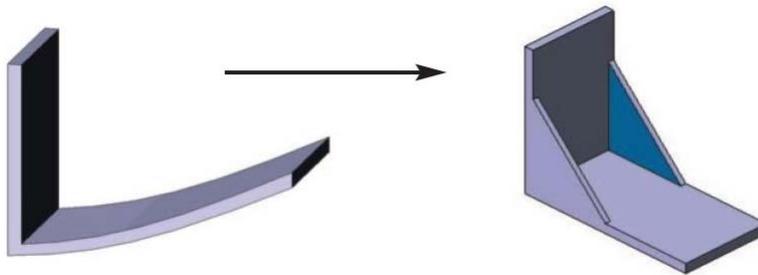


Αρχική σχεδίαση

Προτεινόμενη σχεδίαση

Σχήμα 3.6 Προτεινόμενη σχεδίαση για ομαλή εναλλαγή πάχους.

Νεύρα: Η χρήση των νευρών είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να αυξήσεις την ακαμψία του τεμαχίου χωρίς να αυξήσεις το πάχος τοιχώματός του.

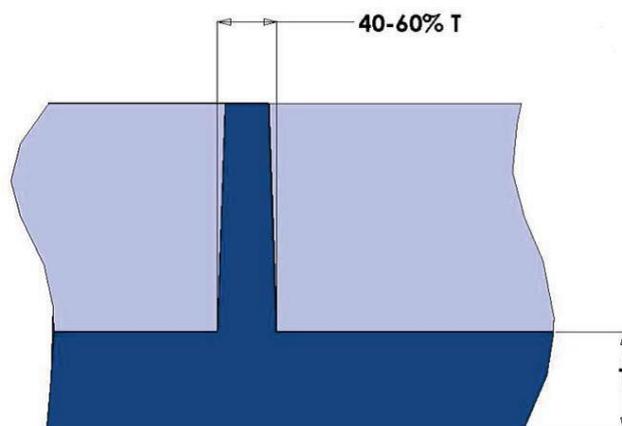


Αρχική σχεδίαση

Προτεινόμενη σχεδίαση

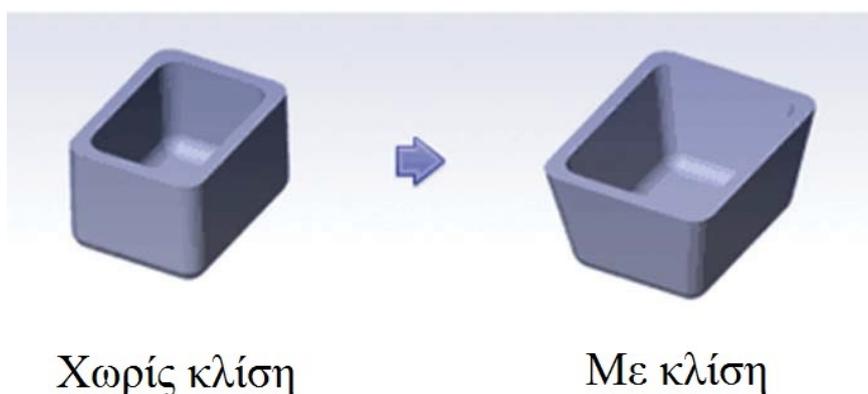
Σχήμα 3.7 Προτεινόμενη χρήση νευρών

Πάχος Νεύρων: Για την αποφυγή βυθίσεων τα νεύρα δεν πρέπει να ξεπερνούν το 60% του πάχους τοιχώματος.



Σχήμα 3.8 Αναπαράσταση αναλογίας νεύρου / πάχους τοιχώματος

Κλίση τοιχωμάτων: Τα τοιχώματα που είναι παράλληλα της κατεύθυνσης εξόδου από το καλούπι πρέπει να έχουν κλίση για την αποφυγή σημαδιών από την μεγάλη τριβή στο τοίχωμα κατά την έξοδο. Μια τυπική κλίση είναι μεταξύ 1 με 3 μοιρών.



Σχήμα 3.9 Αναπαράσταση προτεινόμενου σχεδιασμού για κλίση τοιχώματος.

Πολλοί από τους εμπειρικούς κανόνες υλοποιούνται αυτόματα από τα σύγχρονα λογισμικά που προσφέρουν εργαλεία σχεδίασης και ελέγχου τέτοιων τεμαχίων. Εργαλεία αυτού του είδους παρέχει και το CATIA και εμπεριέχονται στα περιβάλλοντα Mold Tooling Design (για σχεδίαση) και Functional Molded Part (για έλεγχο).

4 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ 3D CAD / PLM CATIA

4.1 Γενικά

Το λογισμικό Computer Aided Three-dimensional Interactive Application, εν συντομία CATIA, το οποίο επιλέχθηκε για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ένα PLM (Product Lifecycle Management) λογισμικό. Η συγκεκριμένη επιλογή έγινε για να διερευνηθούν οι δυνατότητες ενός τέτοιου λογισμικού, σε εφαρμογή βελτίωσης προϊόντος, σε σχέση με άλλα απλούστερα 3D modeling εργαλεία.



Σχήμα 4.1 Λογότυπο του CATIA

Αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 70' από την γαλλική εταιρία Dassault Systems, θυγατρική εταιρία της Dassault Aviation με αρχικό στόχο την εσωτερική χρήση του από την τελευταία και την δημιουργία του γνωστού μαχητικού Mirage. Το 1981 άρχισε να πωλείται και να διανέμεται από την IBM ενώ το 1984 επιλέχτηκε από την Boeing Company ως το βασικό σχεδιαστικό πρόγραμμα της εταιρίας. Το 1988 δημιουργήθηκε νέα έκδοση του λογισμικού το οποίο από τότε συνεχώς αναπτύσσεται και εξελίσσεται. Σήμερα, το CATIA είναι μία πλατφόρμα λογισμικού η οποία αναφέρεται στη διαχείριση πολλαπλών σταδίων του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (π.χ. ο τρισδιάστατος σχεδιασμός του, η κατασκευή του και η ανάλυση και προσομοίωση του).

Το τελευταίο αποτελεί και ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του αφού με αυτόν τον τρόπο δίνει ολοκληρωμένες λύσεις στον οποιοδήποτε χρήστη του. Ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα είναι το ενιαίο υπόβαθρο πάνω στο οποίο είναι κατασκευασμένο το CATIA με αποτέλεσμα την εύκολη συνεργασία τμημάτων του που εξειδικεύονται σε διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής όπως μηχανολογικού σχεδιασμού, ψηφιακού ελέγχου, εκτέλεσης κατεργασιών, ανάλυσης και προσομοίωσης κτλ. Επίσης, η προσαρμογή του στις εκάστοτε ανάγκες της εφαρμογής μέσω προγραμματιστικών περιβαλλόντων ενσωματωμένων στο λογισμικό (Fortran και C στην έκδοση 4, Visual Basic και C++ στην έκδοση 5 και 6) καθιστά αποτελεσματικότερη τη χρήση του ενώ τέλος, η δυνατότητα επανάκτησης

πληροφοριών και συμπερασμάτων που έχουν προκύψει από προηγούμενες εφαρμογές διευκολύνουν την χρήση του επιταχύνοντας ταυτόχρονα τη συνολική διαδικασία.

Η συμβολή του στην ανάπτυξη της παγκόσμιας βιομηχανίας αντικατοπτρίζεται από τη συνεχώς αυξανόμενη εκμετάλλευση του από πολλές και μεγάλες εταιρίες διαφόρων κλάδων: αεροπλοΐα (Boeing, Airbus, Bombardier Aerospace), αυτοκινητοβιομηχανία (BMW, Porsche, Daimler Chrysler, Audi, Volkswagen, Volvo, Fiat, Gestamp Automocion, Benteler AG, PSA Peugeot Citroën, Renault, Toyota, Honda, Ford, Scania, Hyundai, Proton, Tata motors and Mahindra), ναυσιπλοΐα (GD Electric Boat για σχεδιασμό υποβρυχίων και Northrop Grumman Newport News για τον σχεδιασμό αεροπλανοφόρων του αμερικανικού ναυτικού), κατασκευή βιομηχανικού εξορκισμού, ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εφαρμογών, σχεδιασμού εργοστασιακών εγκαταστάσεων, καταναλωτικών αγαθών κ.α. [16]

Η συνεχής εξέλιξή του από την κατασκευάστρια εταιρία έχει σαν αποτέλεσμα μία πληθώρα εκδόσεων του προγράμματος. Παρακάτω περιγράφεται η έκδοση CATIA V5R21 (version 5 release 21) η οποία και χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

4.2 Τμήματα του CATIA (application tools)

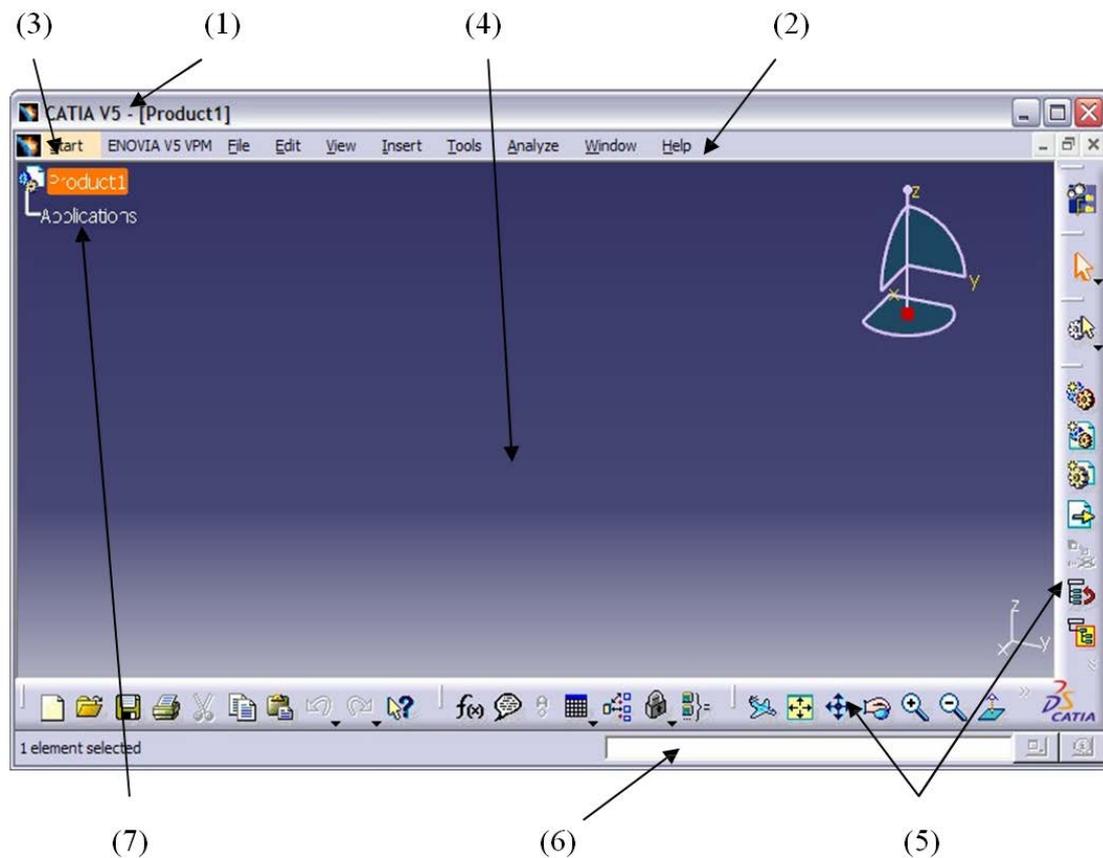
Όπως κάθε ολοκληρωμένο λογισμικό πακέτο, έτσι και το CATIA, είναι διαχωρισμένο σε τμήματα κάθε ένα από τα οποία έχει τον δικό του ρόλο και το δικό του περιβάλλον εντός του συνόλου. Στην επόμενη σελίδα αναφέρονται τα σημαντικότερα από αυτά, βάσει του διαχωρισμού που έχει γίνει από την ίδια την κατασκευάστρια εταιρία. [17]

Πίνακας 4.1 Τμήματα του λογισμικού CATIA

Όνομασία	Σύντομη περιγραφή
Μηχανολογικός Σχεδιασμός (Mechanical Design)	Προσφέρει μοντελοποίηση βάσει προδιαγραφών για σχεδιασμό ενός τεμαχίου, πληθώρας αυτών σε συνεργασία (assembly) και μηχανολογικού σχεδίου.
Σχεδιασμός Μορφής και Σχήματος (Shape Design and Styling)	Επιτρέπει την δημιουργία και τροποποίηση πολύπλοκων επιφανειών.
Σύνθεση Προϊόντων (Product Synthesis)	Προσφέρει αυτοματοποίηση και έλεγχο σχεδίων και κατασκευαστικών δεδομένων.
Μηχανική Εξοπλισμού και Συστημάτων (Equipment and System Engineering)	Πραγματοποιεί σχεδιασμό και ολοκλήρωση ηλεκτρικών, υδραυλικών και μηχανολογικών συστημάτων.
Ανάλυση (Analysis)	Επιτρέπει την κατασκευαστική ανάλυση και προσομοίωση προϊόντων.
Κατεργασίες (Machining)	Προσφέρει πληθώρα γνώσεων και πληροφοριών βασισμένη σε ολοκληρωμένη υποδομή, η οποία καλύπτει όλες τις εφαρμογές μηχανουργικών κατεργασιών.
Υποδομή (Infrastructure)	Περιέχει το σύνολο των πληροφοριών και των στοιχείων που απαιτούνται για τη συνεργασία των επιμέρους τμημάτων.

4.3 Το περιβάλλον του CATIA

Η ανάγκη συνεργασίας των επιμέρους τμημάτων απαιτεί την ύπαρξη μίας βασικής δομής, πάνω στην οποία “χτίστηκε” το συγκεκριμένο λογισμικό. Σε αυτή την δομή ανήκει και το γραφικό περιβάλλον διεπαφής του CATIA (GUI – Graphics Users Interface) το οποίο επιτρέπει την επικοινωνία του λογισμικού με τον χρήστη και μέσω του οποίου εκτελούνται όλες οι λειτουργίες του. Κύριος εκφραστής του GUI είναι το κεντρικό παράθυρο του CATIA, το οποίο φέρει ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά, ανεξαρτήτως επιμέρους περιβάλλοντος και παρουσιάζεται στο σχήμα.

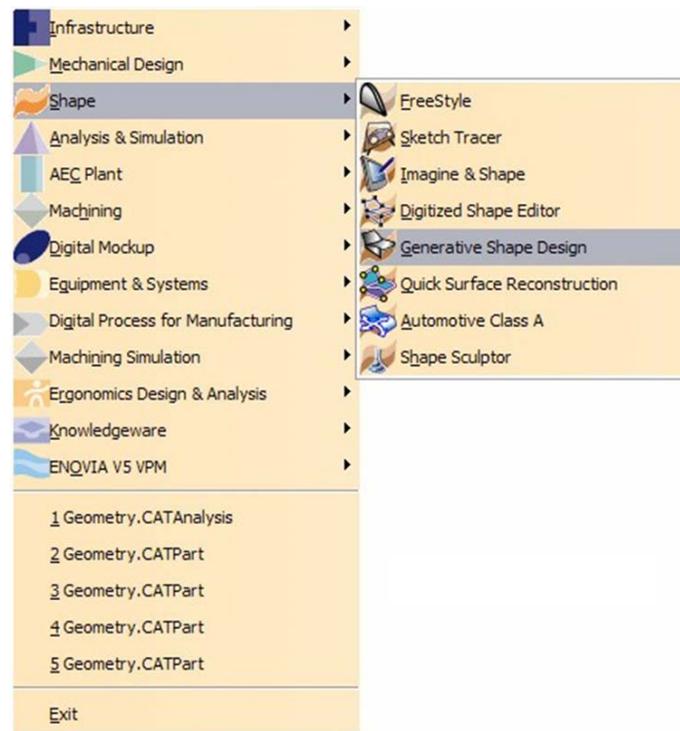


Σχήμα 4.2 Κεντρικό παράθυρο Catia

Πρόκειται για ένα κλασικό παράθυρο μορφής Windows στο πάνω μέρος του οποίου φαίνεται η ονομασία του προγράμματος στο οποίο ανήκει, δηλαδή αναφέρεται η ονομασία και η έκδοση του CATIA (1), ακολουθούμενη από την ονομασία και τον τύπο του προς επεξεργασία αρχείου.

Ακριβώς κάτω από αυτό βρίσκεται η «μπάρα» (standard windows toolbar) των βασικών menu (2) μέσω της οποίας εκτελούνται λειτουργίες όπως άνοιγμα και αποθήκευση αρχείων, εκτύπωση, ρυθμίσεις που αφορούν το λογισμικό, καθορισμός προτιμήσεων κ.α. Η «μπάρα» αυτή χρησιμοποιείται σε όλα τα λογισμικά που λειτουργούν σε περιβάλλον Windows και θεωρείται αρκετά γνωστή, αν και εμπλουτισμένη με εξειδικευμένες λειτουργίες του CATIA.

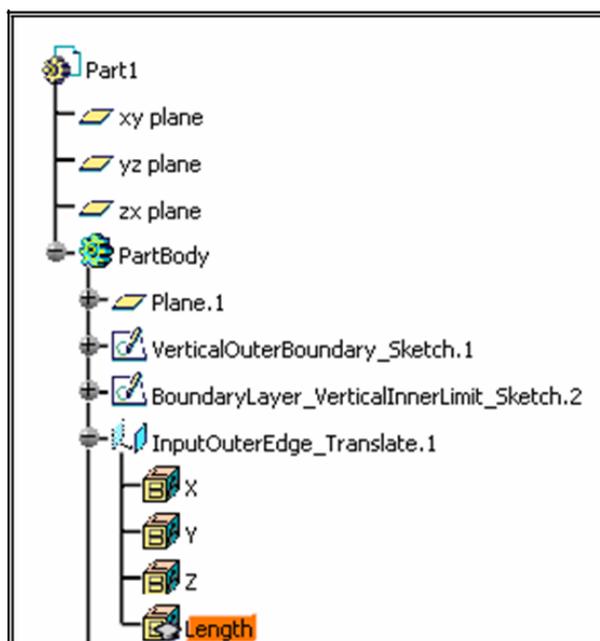
Στην αρχή της «μπάρας» αυτής εμφανίζεται ένα μενού με την ονομασία Start (3). Μέσω αυτού γίνονται προσβάσιμα τα διάφορα επιμέρους τμήματα του CATIA και είναι εφικτή η συνεργασία τους, χωρίς πολύπλοκες διαδικασίες, αφού η διαμεταγωγή δεδομένων γίνεται αυτόματα. Στην ουσία το μενού αυτό καταγράφει τα διάφορα περιβάλλοντα (workbenches) που ανήκουν στο κάθε τμήμα και επιτρέπει, μέσω της επιλογής τους, την μετάβαση από το ένα στο άλλο.



Σχήμα 4.3 Start menu

Όπως είναι φυσικό, το μεγαλύτερο μέρος του παραθύρου καταλαμβάνεται από το ενεργό περιβάλλον του λογισμικού (4) το οποίο έχει επιλεγεί από το Start menu. Σε αυτό γίνεται η απεικόνιση των προς επεξεργασία προϊόντων – σχεδίων με, κατά προεπιλογή, μπλε φόντο. Περιμετρικά αυτού βρίσκονται οι γραμμές εργαλείων (workbenches toolbars and tools), (5) οι οποίες μεταβάλλονται δυναμικά, ανάλογα με το ενεργό περιβάλλον, και περιέχουν τις συντομεύσεις για όλα τα εργαλεία και τις εντολές που ανήκουν στο τελευταίο.

Στο κάτω μέρος του παραθύρου βρίσκεται η γραμμή εντολών (power input), (6) η οποία προσφέρει τη δυνατότητα καταγραφής εντολών σε μορφή κειμένου και εκτέλεσής τους. Τέλος, βασικό γνώρισμα του GUI του CATIA είναι η εμφάνιση ενός δέντρου (specification tree), (7) συγκεκριμένης μορφής, το οποίο δημιουργείται κατά τον σχεδιασμό των προϊόντων. Σε αυτό καταγράφονται όλα τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν από την εκτέλεση εντολών συμπεριλαμβανομένων οντοτήτων σχεδιασμού (επιφάνειες, γραμμές κτλ.) και αριθμητικών τιμών παραμέτρων (δυνάμεις, διαστάσεις κτλ.) καθώς και των σχέσεων και αλληλεξαρτήσεων αυτών. Αποτελεί πολύ χρήσιμο χαρακτηριστικό διότι επιτρέπει την αποτύπωση της λογικής που υιοθετήθηκε κατά το σχεδιασμό και την ανασκόπηση πληροφοριών κατά την περαιτέρω επεξεργασία του προϊόντος. [18]



Σχήμα 4.4 Τμήμα δέντρου χαρακτηριστικών σχεδιασμού για το προϊόν Part1

Προφανώς, η περιγραφή που προηγήθηκε αφορά τη μορφή του λογισμικού όπως αυτή έχει προκαθοριστεί από την κατασκευάστρια εταιρία. Παρόλα αυτά υπάρχει και η δυνατότητα επεξεργασίας και προσαρμογής στοιχείων αυτής στις προτιμήσεις του χρήστη, μέσω της εντολής Tools → Options.

Το CATIA ως PLM λογισμικό διαθέτει μεγάλη γκάμα περιβαλλόντων που βοηθούν στα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος.

Στον Πίνακα 4.2 παραθέτουμε μια σύντομη περιγραφή για το τι είναι σχεδιασμένο να κάνει το καθένα. [19]

Πίνακας 4.2 Περιβάλλοντα του CATIA (workbenches)

Product Structure
<i>Για παρουσίαση της δομής ενός προϊόντος</i>
Material Library
<i>Για καθορισμό των παραμέτρων των υλικών που χρησιμοποιούνται στα άλλα περιβάλλοντα</i>
CATIA V4, V3, V2
<i>Για την συμβατότητα με αρχεία από προηγούμενες εκδόσεις του CATIA</i>
Catalog Editor
<i>Για δημιουργία και διαχείριση τυποποιημένων αρχείων σε καταλόγους.</i>
Photo Studio
<i>Για δημιουργία εικόνων και απλών animation ενός προϊόντος.</i>
Immersive System Assistant
<i>Για διαχείριση συστημάτων εικονικής πραγματικότητας</i>

Real Time Rendering
<i>Για την λεπτομερή απεικόνιση των χαρακτηριστικών των υλικών σε ένα στοιχείο.</i>
Product Data Filtering
<i>Για την δημιουργία ενός μηχανισμού για φιλτράρισμα.</i>
Feature Dictionary Editor
<i>Για την διαχείριση των υπολοίπων περιβαλλόντων</i>
Part Design
<i>Για την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων</i>
Assembly Design
<i>Για την συναρμολόγηση τρισδιάστατων μοντέλων</i>
Sketcher
<i>Για την δημιουργία προφίλ (μπορεί να χρησιμοποιηθεί διαμέσου οποιουδήποτε συμβατού περιβάλλοντος)</i>
Product Functional Tolerancing and Annotation
<i>Για την πρόσθεση σχολίων και ανοχών ενός προϊόντος</i>
Weld Design
<i>Για την συναρμολόγηση συγκολλημένων κομματιών</i>
Mold Tooling Design
<i>Για το σχεδιασμό καλουπιών για χύτευση με έγχυση</i>
Structure Design
<i>Για τον σχεδιασμό δομικών κατασκευών</i>
2D Layout for 3D Design
<i>Για τον συνδυασμό των περιβαλλόντων Part Design και Annotations</i>
Drafting
<i>Για την δημιουργία των σχεδίων ενός προϊόντος</i>
Core & Cavity Design
<i>Για την ανάλυση ενός καλουπιού</i>
Healing Assistant
<i>Για την ανάλυση και διόρθωση προβλημάτων σχετικά με τις επιφάνειες</i>
Functional Molded Part
<i>Για το σχεδιασμό τεμαχίων που θα κατασκευαστούν σε καλούπι</i>
Sheet Metal Design
<i>Για την δημιουργία απλών κατασκευών με την χρήση φύλλων μετάλλου.</i>
Sheet Metal Production
<i>Για την ανάλυση της παραγωγής τεμαχίων από φύλλα μετάλλου</i>
Wireframe and Surface Design
<i>Για την δημιουργία απλών επιφανειών και πλέγματος</i>
Generative Sheetmetal Design
<i>Για την δημιουργία κατασκευών με την χρήση φύλλων μετάλλου.</i>
Functional Tolerancing & Annotation
<i>Για την πρόσθεση σχολίων στα τεμάχια</i>
FreeStyle
<i>Για την οπτική δημιουργία 3D splines και επιφανειών</i>
Sketch Tracer
<i>Για την εισαγωγή οδηγών εικόνων για την χρήση σε άλλα περιβάλλοντα</i>

Imagine & Shape
<i>Για την διαχείριση επιφανειών και μορφών με τρόπο ανάλογο με το πλάσιμο του πηλού</i>
Digitized Shape Editor
<i>Για την διαχείριση μορφών από τρισδιάστατη σάρωση</i>
Generative Shape Design
<i>Για την δημιουργία επιφανειών και πλέγματος</i>
Quick Surface Reconstruction
<i>Για την δημιουργία επιφανειών από τρισδιάστατη σάρωση</i>
Shape Sculptor
<i>Για την επεξεργασία ανάγλυφων μορφών</i>
Advanced Meshing Tools
<i>Για την δημιουργία πλεγμάτων για ανάλυση με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων</i>
Generative Structure Analysis
<i>Για την ανάλυση με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων</i>
Plant Layout
<i>Για την δημιουργία της διάταξης ενός εργοστασίου</i>
Lathe Machining
<i>Για τον καθορισμό κώδικα για την κατεργασία τρισδιάστατων κυλινδρικών τεμαχίων σε NC μηχανήματα που δουλεύει σε δύο άξονες.</i>
Prismatic Machining
<i>Για τον καθορισμό κώδικα για NC μηχανήματα που χρησιμοποιεί τεχνική κατεργασίας σε δυόμιση άξονες</i>
Surface Machining
<i>Για την δημιουργία κατεργασίας σε επιφάνειες για τρεις, τέσσερις και πέντε άξονες.</i>
Advanced Machining
<i>Για την δημιουργία κατεργασίας σε τρεις, τέσσερις και πέντε άξονες.</i>
NC Manufacturing Review
<i>Για την οπτική παρουσίαση της NC κατεργασίας.</i>
STL Rapid Prototyping
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση STL αρχείων.</i>
DMU Navigator
<i>Για την τροποποίηση και διαχείριση ψηφιακών μακετών.</i>
DMU Space Analysis
<i>Για την μέτρηση αποστάσεων, της ροπής αδράνειας και τις παρεμβολές μεταξύ των τεμαχίων ενός προϊόντος.</i>
DMU Kinematics
<i>Για την προσομοίωση κινήσεων</i>
DMU Fitting
<i>Για την προσομοίωση κινούμενων τεμαχίων σε μια συναρμολόγηση</i>
DMU 2D Viewer
<i>Για την ψηφιακή μακέτα δισδιάστατων στοιχείων</i>
DMU Fastening Review
<i>Για τον σχολιασμό συνδέσμων που χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία</i>
DMU Composite Review
<i>Για την αξιολόγηση ενός προϊόντος με σύνθετη γεωμετρία</i>

DMU Optimizer
<i>Για τον υπολογισμό βελτιστοποιημένης γεωμετρίας ενός τεμαχίου.</i>
DMU Tolerancing Review
<i>Για την παρουσίαση και ανάλυση διαστάσεων και ανοχών.</i>
Electrical Connectivity Diagrams
<i>Για την δημιουργία διαγραμμάτων καλωδίων</i>
Conduit Design
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση σχεδίων για καλωδίωση.</i>
Raceway Design
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση των καναλιών διέλευσης των καλωδίων</i>
Electrical Cableway Routing
<i>Για την δρομολόγηση των καλωδίων.</i>
Waveguide Diagrams
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση των διαγραμμάτων των κυματοδηγών.</i>
Waveguide Design
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση των σχεδίων των συστημάτων των κυματοδηγών.</i>
Electrical Assembly Design
<i>Για την συναρμολόγηση ηλεκτρικών αντικειμένων</i>
Electrical Part Design
<i>Για την πρόσθεση ηλεκτρικών χαρακτηριστικών στα τεμάχια.</i>
Electrical Harness Assembly
<i>Για την σύνδεση ηλεκτρικών συνδεσμολογιών</i>
Electrical Harness Installation
<i>Για την δημιουργία ηλεκτρικών συνδεσμολογιών</i>
Electrical Wire Routing
<i>Για την διαχείριση των ηλεκτρικών καλωδίων</i>
Electrical Harness Flattening
<i>Για την απεικόνιση των τρισδιάστατων συνδεσμολογιών σε δισδιάστατα σχέδια</i>
Electrical 3D Design Assembly
<i>Για την δημιουργία τρισδιάστατης απεικόνισης ηλεκτρικής συναρμολόγησης .</i>
Electrical 3D Design Part
<i>Για την δημιουργία τρισδιάστατων απεικονίσεων ηλεκτρικών τεμαχίων.</i>
HVAC Diagrams
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση διαγραμμάτων κλιματισμού</i>
HVAC Design
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση αναρτημένων συστημάτων κλιματισμού</i>
Equipment Arrangement
<i>Για την διαχείριση εξοπλισμού</i>
Hanger Design
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση σχεδίων αναρτημένων συστημάτων.</i>
Systems Space Reservation
<i>Για τον καθορισμό δικτύου διατήρησης χώρου.</i>
System Routing
<i>Για τον σχεδιασμό δρομολόγησης συστημάτων</i>
Piping and Instrumentation Diagrams
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση διαγραμμάτων για αγωγούς</i>

Piping Design
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση σχεδίων για συστήματα αγωγών.</i>
Tubing Diagrams
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση διαγραμμάτων για σωλήνωση.</i>
Tubing Design
<i>Για την δημιουργία και διαχείριση σχεδίων για συστήματα αγωγών.</i>
Structure Functional System Design
<i>Για την δημιουργία συστημάτων (χρησιμοποιείται στην ναυπηγική)</i>
Structure Functional Object Design
<i>Για την δημιουργία τεμαχίων (χρησιμοποιείται στην ναυπηγική)</i>
Compartment and Access
<i>Για την δημιουργία διαμερισμάτων και προσβάσεων στα πλοία</i>
Circuit Board Design
<i>Για τον σχεδιασμό κυκλωμάτων από την οπτική γωνιά του μηχανολόγου.</i>
Process Tolerancing & Annotation
<i>Ίδιο με το Product Functional Tolerancing & Annotations</i>
NC Machine Tool Simulation
<i>Για την επισκόπηση της ρύθμισης ενός NC μηχανήματος με ψηφιακή αναπαράσταση.</i>
NC Machine Tool Builder
<i>Για την δημιουργία NC μηχανημάτων για την χρήση με τον περιβάλλον NC Machine Tool Simulation.</i>
Human Measurements Editor
<i>Για την δημιουργία λεπτομερών ψηφιακών ανθρωπομορφικών μοντέλων.</i>
Human Activity Analysis
<i>Για την ανάλυση της δράσης του ανθρώπου σε περιβάλλον εργασίας.</i>
Human Builder
<i>Για την ανάλυση της αλληλεπίδρασης των ψηφιακών μοντέλων ανθρώπων με ένα προϊόν.</i>
Human Posture Analysis
<i>Για την ανάλυση όλων των στάσεων του σώματος του ψηφιακού μοντέλου ανθρώπου.</i>
Knowledge Advisor
<i>Για την ενσωμάτωση εμπειρικής γνώσης (εταιρικά στάνταρ για παράδειγμα) στο σχεδιασμό.</i>
Knowledge Expert
<i>Για την ανάπτυξη και διαμοίρασης της εμπειρικής γνώσης.</i>
Product Engineering Optimizer
<i>Για την βελτιστοποίηση της δομής ενός σχεδιασμού</i>
Product Knowledge Template
<i>Για την καταγραφή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται σε σχεδιασμό.</i>
Product Functional Design
<i>Για την περιγραφή των λειτουργικών συστημάτων του προϊόντος.</i>

Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα περιβάλλοντα: ‘Material Library’, ‘Photo Studio’, ‘Real Time Rendering’, ‘Part Design’, ‘Assembly Design’, ‘Sketcher’, ‘Wireframe and Surface Design’, ‘Generative Structure Analysis’, ‘DMU Kinematics’ και ‘Human Builder’.

5 ΜΕΛΕΤΩΜΕΝΟ ΠΡΟΪΟΝ

5.1 Περιγραφή προϊόντος

Το προϊόν το οποίο αποτελεί αντικείμενο μελέτης της εργασίας και για το οποίο πιλοτικά επιχειρείται βελτίωση του, είναι ένας υπαρκτός βιομηχανοποιημένος χειροκίνητος μύλος άλεσης καφέ της ιαπωνικής εταιρείας HARIO CO, τύπος Hario Mini Mill Slim. Προσφέρεται για οικιακή χρήση αλλά και για μεταφορά σε ταξίδια. Το συγκεκριμένο προϊόν έχει ήδη υποστεί εξέλιξη από τους παλιούς μύλους άλεσης καφέ και βοτάνων. Συναγωνίζεται σε πιστότητα άλεσης ηλεκτροκίνητους μύλους με αρκετά υψηλότερο κόστος. Ήταν, επομένως, πρόκληση η περαιτέρω βελτίωση του σε τομείς όπως τα υλικά, ο τρόπος άλεσης, η συνοχή των κόκκων κτλ.

Η άλεση πραγματοποιείται με περιστροφική κίνηση της χειρολαβής κατά την οποία περιστρεφόμενο κεραμικό άλεστρο συνθλίβει τους κόκκους του καφέ πάνω σε επίσης κεραμικό στάτορα. Το μέγεθος του κόκκου μειώνεται με προοδευτικό ρυθμό μέχρις ότου να φτάσει το επιθυμητό μέγεθος που ο χρήστης ορίζει και ακολούθως να πέσει στον κάδο.



Σχήμα 5.1 Το υπό μελέτη προϊόν - Hario Mini Mill Slim

Η μορφή και τα βασικά βήματα λειτουργίας του παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1:

Πίνακας 5.1 Διαδικασία άλεσης

<p>1. Ξεβιδώνεται η βάση (κάδος).</p> 	<p>2. Ρυθμίζεται το επιθυμητό μέγεθος του αλεσμένου καφέ.</p> 
<p>3. Βιδώνεται πίσω η βάση (κάδος).</p> 	<p>4. Αφαιρείται το κάλυμμα.</p> 
<p>5. Προστίθεται ο καφές.</p> 	<p>6. Κλείνουμε πάλι το κάλυμμα.</p> 

7. Τοποθετείται η χειρολαβή.



8. Περιστρέφεται η χειρολαβή για να πραγματοποιηθεί η άλεση.



9. Αφαιρείται η βάση (κάδος).



10. Ο αλεσμένος καφές είναι έτοιμος για χρήση.



5.2 Κατάλογος τεμαχίων

Έγινε αναλυτική καταγραφή των επιμέρους εξαρτημάτων που απαρτίζουν το προϊόν, των υλικών τους και κύριων χαρακτηριστικών τους.

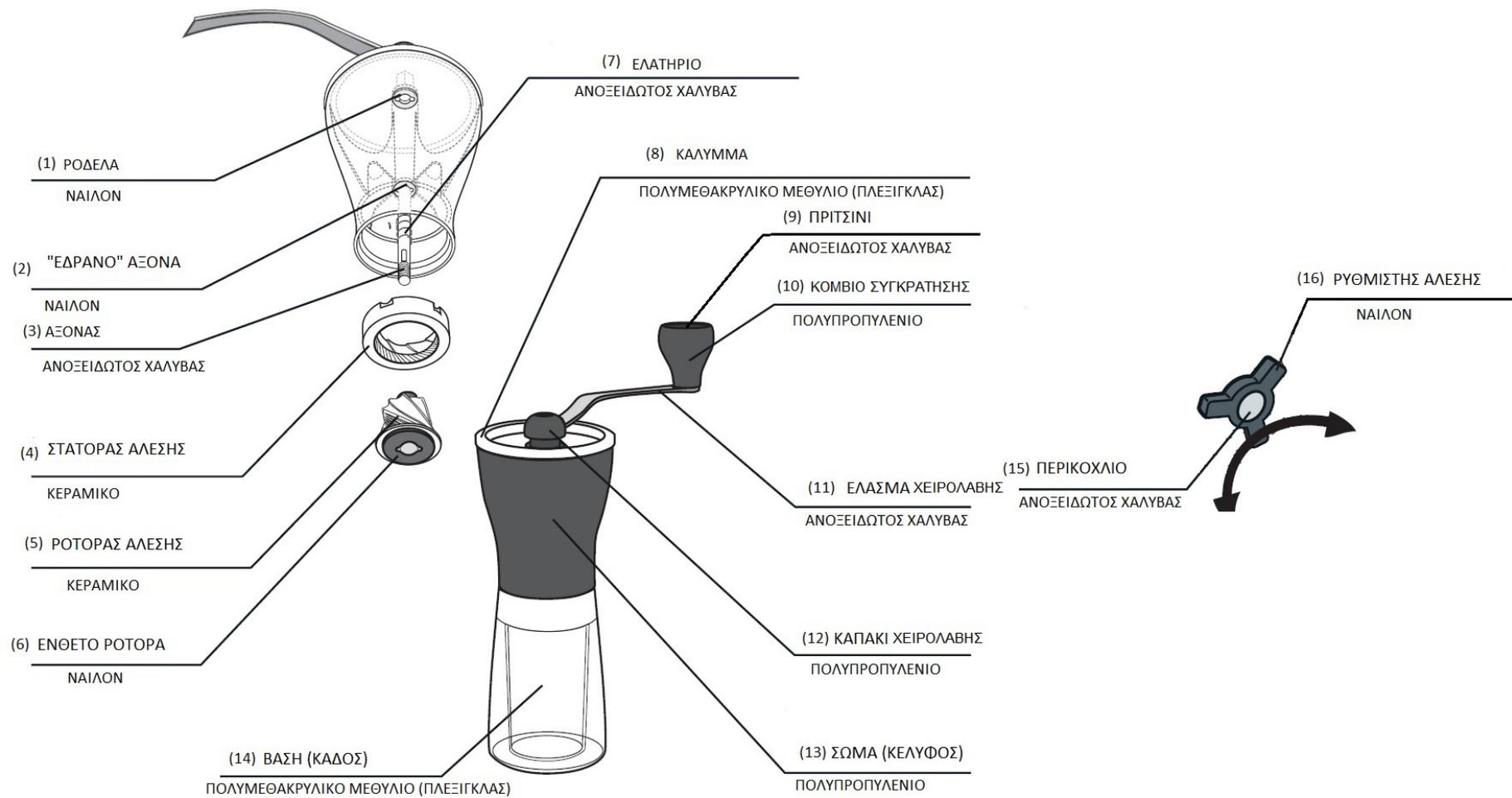
❖ Πολυμερή / Θερμοπλαστικά

- Νάilon
 - 1) Ροδέλα
 - Τρόπος κατασκευής: Χύτευση με έγχυση.
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Πρωτότυπο.
 - 2) «Έδρανο» άξονα
 - Τρόπος κατασκευής: Χύτευση με έγχυση.
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Πρωτότυπο.
 - 6) Ένθετο ρότορα
 - Τρόπος κατασκευής: Χύτευση με έγχυση.
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Πρωτότυπο.
 - 16) Ρυθμιστής άλεσης
 - Τρόπος κατασκευής: Χύτευση με έγχυση γύρω από το περικόχλιο (τεμάχιο Νο15).
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Πρωτότυπο.
- Πολυμεθακρυλικό Μεθύλιο (PMMA)
 - 8) Κάλυμμα
 - Τρόπος κατασκευής: Χύτευση με έγχυση.
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Πρωτότυπο.
 - 14) Βάση (κάδος)
 - Τρόπος κατασκευής: Χύτευση με έγχυση.
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Πρωτότυπο.
- Πολυπροπυλένιο (PP)
 - 10) Κομβίο Συγκράτησης
 - Τρόπος κατασκευής: Χύτευση με έγχυση.
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Πρωτότυπο.
 - 12) Καπάκι χειρολαβής
 - Τρόπος κατασκευής: Χύτευση με έγχυση.
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Πρωτότυπο.
 - 13) Σώμα (κέλυφος)
 - Τρόπος κατασκευής: Χύτευση με έγχυση.
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Πρωτότυπο.

❖ Μεταλλικά

- Ανοξείδωτος χάλυβας (INOX)
 - 3) Άξονας
 - Τρόπος κατασκευής: Ράβδοι ανοξείδωτου χάλυβα σφυρηλατούνται για μόνιμες παραμορφώσεις στη διαμόρφωση με το πεντάγωνο και στα «αυτιά». Τόρνευση στο κάτω μέρος για τη δημιουργία του σπειρώματος (M6).

- Πρωτοτυπία τεμαχίου: Ημιπρωτότυπο.
- 7) Ελατήριο
- Τρόπος κατασκευής: Περιτύλιξη μεταλλικού σύρματος.
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Τυποποιημένο στοιχείο. (SF-TF-SS 1774-04 (1310) , DIN 17223-B).
- 9) Πριτσίνι
- Τρόπος κατασκευής: Πρεσάρεται για μόνιμη κατάσταση στο έλασμα της χειρολαβής (Τεμάχιο Νο11).
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Τυποποιημένο.
- 11) Έλασμα χειρολαβής
- Τρόπος κατασκευής: Διαμόρφωση μεταλλικών ελασμάτων.
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Ημιπρωτότυπο.
- 15) Περικόχλιο
- Τρόπος κατασκευής: Διάτρηση με κατάλληλο κοπτικό εργαλείο (κολαούζο).
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Τυποποιημένο (M6).
- ❖ Κεραμικά
- 4) Στάτορας άλεσης
- Τρόπος κατασκευής: Χύτευση κεραμικών με έγχυση (CIM, Ceramic Injection Molding).
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Πρωτότυπο.
- 5) Ρότορας άλεσης
- Τρόπος κατασκευής: Χύτευση κεραμικών με έγχυση (CIM, Ceramic Injection Molding).
 - Πρωτοτυπία τεμαχίου: Πρωτότυπο.



Σχήμα 5.2 Αναπαράσταση των τεμαχίων που αποτελούν τον μύλο.

5.3 Επιλογή υλικών:

Το πρώτο κριτήριο που είχε στο νου του ο κατασκευαστής όταν επέλεξε τα υλικά είναι η δυνατότητα τους να έρχονται σε επαφή με τρόφιμα. Είναι, δηλαδή, μέτριας - χαμηλής χημικής αντιδραστικότητας. Έτσι δεν αντιδρούν με τρόφιμα και δεν αφήνουν κατάλοιπα οξειδωσης και φθοράς στον αλεσμένο καφέ. Πολύ σημαντική ιδιότητα καθώς χωρίς αυτήν το προϊόν θα αποσυρόταν αμέσως από την αγορά. Έγινε έλεγχος και διαπιστώθηκε ότι όντως τα συγκεκριμένα υλικά έχουν έγκριση από τον οργανισμό ελέγχου φαρμάκων και τροφίμων των ΗΠΑ (Food and Drug Administration - FDA) για να έρχονται σε επαφή με τρόφιμα. [20-22]

Για κάποια τεμάχια έγινε επιλογή να κατασκευαστούν από νάιλον. Η επιλογή αυτή έγινε στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν κινούμενα μέρη που έρχονται σε επαφή. Εκεί απαιτείται υλικό που να μειώνει την τριβή και το νάιλον είναι ιδανικό γιατί δεν χρειάζεται λίπανση. Επίσης, παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή σε σχέση με τα άλλα πολυμερή.

Για την κατασκευή του αλέστρου χρησιμοποιήθηκε κεραμικό υλικό. Ο κατασκευαστής επέλεξε να χρησιμοποιήσει κεραμικό έναντι μεταλλικού αλέστρου κυρίως λόγω της μεγάλης σκληρότητας που έχουν, αποφεύγοντας έτσι τη φθορά από την μακροχρόνια χρήση.

Στον πίνακα γίνεται σύγκριση παρουσιάζοντας τα πλεονεκτήματα των δύο υλικών.

Πίνακας 5.2 Πλεονεκτήματα κεραμικών και μεταλλικών λεπίδων. [23]

Κεραμικές λεπίδες	Μεταλλικές λεπίδες
Πολύ ψηλή σκληρότητα → Δεν χάνουν την αιχμηρότητα τους με την τριβή.	Πολύ πιο φθηνές.
Έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και δεν μεταφέρουν θερμότητα στον καφέ που προκαλεί αλλοίωση της γεύσης και του αρώματός του.	Μεγάλη αντοχή σε κόπωση, λυγισμό και κρούση.
Με μεγαλύτερες επιφάνειες κοπής → μικρότερη ταχύτητα περιστροφής → λιγότερος θόρυβος και παραγόμενη θερμότητα.	Υπάρχουν σε μεγαλύτερη ποσότητα και ποικιλία μεγεθών.
Έχουν χαμηλή πυκνότητα → πιο ελαφριές.	

6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

6.1 Καταγραφή της φωνής του πελάτη για το προϊόν

6.1.1 Παραδείγματα κριτικής του προϊόντος από κατόχους του

★★★★☆ **Good grinder with limitations**, August 19, 2013
By **Matt** - [See all my reviews](#)
Amazon Verified Purchase ([What's this?](#))
This review is from: Hario Coffee Mill Slim Grinder, Mini (Kitchen)

If you are looking for a small, relatively inexpensive grinder for making small amounts of coffee with a paper filter, then this is an excellent choice. You CAN use it for French press but it's difficult to get good results. To get consistently good French press coffee you'll need a better grinder.

Pros:

The grind consistency is better than a blade grinder.
It's quieter and cheaper than electric burr grinders.
Its small size is great for travel.
The plastics seem durable.
Pleased that it's not 'noisy'.

Limitations:

Although it grinds better than a blade grinder, you will still get quite a bit of dust.
The last couple of beans that pass through the burrs tend to do so in larger chunks than the rest of the grind.

Σχήμα 6.1 Κριτική προϊόντος από τον πελάτη Α

Ελεύθερη μετάφραση:

"Εάν ψάχνεις ένα, μικρό, σχετικά φθινό μύλο για μικρές ποσότητες καφέ τότε αυτός ο μύλος είναι μια εξαιρετική επιλογή.

Υπέρ:

- Η συνοχή στο μέγεθος των αλεσμένων κόκκων είναι καλύτερη από αυτήν ενός μύλου με μεταλλικές λεπίδες.
- Κοστίζει λιγότερο από έναν ηλεκτροκίνητο μύλο.
- Το μικρό του μέγεθος είναι ιδανικό για τα ταξίδια.
- Τα πλαστικά φαίνονται ανθεκτικά. Δεν κάνει πολύ θόρυβο.

Κατά:

- Παρόλο που αλέθει καλύτερα από έναν ηλεκτρικό μύλο, εξακολουθεί να υπάρχει σκόνη καφέ στο προϊόν άλεσης."

★★★★☆ Great for occasional use, may not be durable enough for daily use, July 20, 2013

By [Henry II](#) - [See all my reviews](#)

This review is from: [Hario Coffee Mill Slim Grinder, Mini \(Kitchen\)](#)

I received the Hario MSS-18 Mini Mill Grinder as a gift about 4 months ago. My wife and I have been getting more into coffee lately and prefer to grind our beans just before brewing (which is recommended for best taste). Having this hand grinder was nice because in addition to its small form factor, it was inexpensive and also fairly quiet, allowing me to grind beans in the morning without being too loud. For the first month or two, it performed great - consistent grind size at most course settings, relatively easy to grind (although it took a few minutes and gave you quite a little workout when on the "fine ground" setting, but I expected that). During the last few weeks, I noticed that the handle was starting to "slip" when grinding. This morning the grinder officially stopped working. I tried taking the blades apart and cleaning them, thinking that was the problem; however, it seems the real issue was the top of the "shaft" which has a hexagon shape that the handle attaches to. This has become "rounded" over time and now no longer seats with the handle correctly, basically causing the handle to spin without turning the blades.

Σχήμα 6.2 Κριτική προϊόντος από τον πελάτη B

Ελεύθερη μετάφραση:

"Πριν από 4 μήνες μου κάνανε δώρο τον μύλο τη Hario. Της γυναίκας μου και μένα μας αρέσει να αλέθουμε τον καφέ μας πριν τον πιούμε γιατί έχει καλύτερη γεύση έτσι. Μου αρέσει αυτός ο μύλος γιατί είναι μικρός, φθηνός και δεν κάνει πολύ θόρυβο. Στην αρχή δούλευε πολύ καλά. Τις τελευταίες εβδομάδες παρατήρησα ότι το χερούλι γλιστρούσε από τον άξονα κατά την άλεση. Το πρόβλημα ήταν ότι το πάνω μέρος του άξονα με την πενταγωνική διαμόρφωση φθάρθηκε από την χρήση και έτσι δεν είχε καλή επαφή με την χειρολαβή."

★★★★☆ **Does the job decently well**, April 11, 2013
 By **Alex H** - [See all my reviews](#)
Amazon Verified Purchase ([What's this?](#))
This review is from: Hario Coffee Mill Slim Grinder, Mini (Kitchen)

After only a week of using this, I've noticed some good and bad things.

Good:

- The long handle gives good leverage and makes grinding pretty easy .
- The burrs are made of ceramic and can be safely washed.
- Simple construction Nith very few parts makes it easy to take apart and clean.
- Very fine grinds (starting with around 8-9 clicks and going down to 1) are easy to achieve with good consistency . (Perfect for an AeroPress)
- Offers a better grind than you'll get with any cheap electric blade grinder.

Bad:

- Shoddy engineering. The inner burr wobble around as you grind, causing big chunks to fall out on one side and dust on the other. I've noticed a significant number of "rocks and boulders" in my medium grinds
- The top hexagonal bolt that attaches to the handle looks like it'll easily wear down and be stripped in no time.

Σχήμα 6.3 Κριτική προϊόντος από τον πελάτη Γ

Ελεύθερη μετάφραση:

"Μετά από μόλις μια βδομάδα χρήσης του προϊόντος παρατήρησα κάποια καλά και κάποια κακά χαρακτηριστικά του.

Καλά χαρακτηριστικά:

- Η μεγάλη χειρολαβή παρέχει καλή μόχλευση και κάνει την άλεση εύκολη
- Τα άλεστρα είναι κατασκευασμένα με κεραμικό και έτσι μπορούν να πλυθούν άφοβα.
- Η απλή κατασκευή του βοηθά στην αποσυναρμολόγηση / πλύσιμο του.
- Καλή συνοχή στην ομοιομορφία των κόκκων.
- Προσφέρει καλύτερη άλεση από έναν φθινό ηλεκτρικό μύλο με λεπίδες.

Κακά χαρακτηριστικά:

- Πρόχειρη δουλειά από τους μηχανικούς. Το άλεστρο παρουσιάζει ένα τζόγο κατά την άλεση προκαλώντας τη πτώση μεγάλων κομματιών από τη μια πλευρά και σκόνης καφέ από την άλλη.

- Το πάνω μέρος του άξονα που έρχεται σε επαφή με τη χειρολαβή φαίνεται να παρουσιάζει εύκολα φθορά από την άλεση."

Στον Πίνακα 6.1 εφαρμόζοντας τη μέθοδο ψηφιακής λογικής (digital logic), η οποία είναι γνωστή στον τρόπο εφαρμογής της [2] και για λόγους οικονομίας κειμένου παραλείπεται, έγινε καταγραφή και ιεράρχηση των απαιτήσεων και επιθυμιών των πελατών από το εν λόγω εξεταζόμενο προϊόν.

Πίνακας 6.1 Απαιτήσεις πελατών σε σειρά προτεραιότητας.

α/α	Απαιτήσεις του πελάτη.	Βαρύτητα (%)
1	Χαμηλό κόστος.	15
2	Εξασφάλιση υγιεινής.	12
3	Ομοιομορφία των αλεσμένων κόκκων.	10
4	Το άρωμα και η γεύση του καφέ να παραμένουν αναλλοίωτα.	8
5	Η χειροκίνητη άλεση να γίνεται εύκολα.	8
6	Ο χρόνος ζωής του να φτάνει τα 2 με 3 χρόνια.	7
7	Ασφαλές κατά την χρήση και τον καθαρισμό του.	6
8	Να μην χρειάζεται παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.	6
9	Εύκολο άνοιγμα για πρόσθεση καφέ και αφαίρεση του αλεσμένου.	4
10	Εύκολη ρύθμιση του επιθυμητού μεγέθους των αλεσμένων κόκκων.	4
11	Μικρός χρόνος άλεσης.	4
12	Εύκολο στην αποθήκευση και μεταφορά του.	4
13	Εύκολο στην αποσυναρμολόγηση, στο πλύσιμο και στην επανασυναρμολόγηση του.	4
14	Λίγα έως καθόλου λειτουργικά έξοδα.	2
15	Να είναι αισθητικά ωραίο .	2
16	Χαμηλό κόστος συντήρησης.	1
17	Να μην ενοχλεί ο θόρυβος λειτουργίας του.	1
18	Να έχει μεγάλη χωρητικότητα το δοχείο άλεσης.	1
19	Να είναι ελαφρύ.	1

Μετά την καταγραφή των συνολικών απαιτήσεων που έχουν οι πελάτες από ένα χειροκίνητο μύλο άλεσης καφέ, έγινε ξεχωριστή ανάλυση και βαθμολόγηση για το πόσο ικανοποιεί την κάθε απαίτηση το υπάρχον προϊόν.

Η βαθμολόγηση έγινε σε 5-βάθμια κλίμακα ποιοτικής αξιολόγησης (Πίνακας 6.2) μελετώντας τις κριτικές των κατόχων του προϊόντος στο διαδίκτυο καθώς και από προσωπική εμπειρία χρήσης του προϊόντος.

Πίνακας 6.2 Κλίμακα βαθμολογήσεων και ερμηνεία της εκάστοτε βαθμολόγησης

Βαθμός	Ερμηνεία
1	Ανεπαρκής(-ές)
2	Ανεκτή(-ό)
3	Επαρκής(-ές)
4	Καλή(-ό)
5	Πολύ καλή(-ό) / Άριστη(-ο)

6.2 Αξιολόγηση προϊόντος ως προς τις απαιτήσεις των πελατών

- 1) Κόστος **4**
 - Έχει αρκετά ανταγωνιστική τιμή σε σχέση με άλλα προϊόντα στην κατηγορία του. (~ 30 €)
- 2) Υγιεινή **5**
 - Αποτελείται από υλικά μέτριας - χαμηλής χημικής αντιδραστικότητας που δεν αντιδρούν με τρόφιμα και δεν αφήνουν κατάλοιπα οξείδωσης και φθοράς στον αλεσμένο καφέ.
- 3) Ομοιομορφία των αλεσμένων κόκκων **3**
 - Παρατηρείται μεγάλη αυξομείωση στις διαμέτρους των αλεσμένων κόκκων της τάξης του 0,75 mm.
- 4) Διατήρηση αρώματος και γεύσης **5**
 - Τα κεραμικά άλεστρα λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας τους δεν μεταφέρουν θερμότητα στον καφέ και επομένως δεν αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά του. Επίσης, δεν φθείρονται και έτσι δεν έχουμε πρόσθετα υλικά στον αλεσμένο καφέ.
- 5) Ευκολία άλεσης **3**
 - Απαιτεί δύναμη ~ 15 N για την άλεση και παρουσιάζει μια μικρή δυσκολία στο κράτημα.
- 6) Χρόνος ζωής **3**
 - Παρατηρείται φθορά στη διαμόρφωση που υπάρχει στο πάνω μέρος του άξονα λόγω τη φθοράς από την επαφή με τη χειρολαβή.

- 7) Ασφάλεια κατά την χρήση και τον καθαρισμό του 5
- Δύσκολα μπορείς να τραυματιστείς με το άλεστρο εφόσον κάνεις ορθή χρήση του προϊόντος.
- 8) Ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας 5
- Δεν απαιτείται.
- 9) Ευκολία διαδικασίας πρόσθεσης και αφαίρεσης του καφέ 5
- Για την πρόσθεση του καφέ αφαιρούμε τη χειρολαβή και το καπάκι με δύο γραμμικές κινήσεις σε ένα (1) άξονα.
 - Για την αφαίρεση του αλεσμένου καφέ αφαιρούμε το δοχείο με μια περιστροφική και μια γραμμική κίνηση στον ίδιο άξονα.
- 10) Ευκολία ρύθμισης του επιθυμητού μεγέθους κόκκων του καφέ 5
- Εύκολη ρύθμιση με περιστροφή του ρυθμιστή άλεσης κατά ένα (1) άξονα.
- 11) Ποσότητα αλεσμένου καφέ ανά περιστροφή (σε ρύθμιση μεσαίου μεγέθους κόκκων) 3
- Απαιτούνται εκατό (100) περιστροφές της χειρολαβής για δώδεκα (12) γραμμάρια καφέ (ποσότητα για ένα (1) φλιτζάνι καφέ)
- 12) Ευκολία αποθήκευσης / μεταφοράς 4
- Η λειτουργία του δεν απαιτεί παροχή ηλεκτρικού ρεύματος οπότε αυτό καθιστά εύκολη την μεταφορά του παντού.
 - Η μέγιστη συναρμολόγηση που μπορούμε να επιτύχουμε είναι σε δύο (2) σταθερά συναρμολογημένα μέρη.
- 13) Ευκολία αποσυναρμολόγησης/πλύσιματος/συναρμολόγησης 4
- Για την συναρμολόγηση / αποσυναρμολόγηση χρειάζονται οκτώ (8) γραμμικές κινήσεις στον κατακόρυφο άξονα καθώς και δύο (2) περιστροφικές.
 - Το πλύσιμο γίνεται εύκολα. Απαιτείται μικρή προσοχή για να μην χαθούν τα μικρά εξαρτήματα.
- 14) Λειτουργικά έξοδα 5
- Μόνο το κόστος για το πλύσιμο.
- 15) Εμφάνιση 5
- Ωραία εμφάνιση με ομαλές καμπύλες.
- 16) Κόστος συντήρησης 5
- Μηδενικό κόστος συντήρησης.
- 17) Θόρυβος κατά την λειτουργία 5
- Παράγονται εξήντα 62 db κατά την άλεση τα οποία δεν ενοχλούν ιδιαίτερα.
- 18) Χωρητικότητα δοχείου άλεσης 4
- Εικοσιοκτώ γραμμάρια (28 g) μεσαίου μεγέθους κόκκων καφέ που αντιστοιχούν σε 4 δόσεις καφέ - 2 φλιτζάνια.
- 19) Βάρος 5
- Συνολικό βάρος: 245 g.

7 ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΟ ΠΡΟΪΟΝ

Από το γράφημα του QFD (Βλέπε Παράρτημα Α) έγιναν εμφανείς οι τεχνικές παράμετροι για τις οποίες η κάθε επιμέρους βελτίωση θα συμβάλλει περισσότερο στην συνολική βελτίωση του προϊόντος.

Στον πίνακα καταγράφονται οι τεχνικές προδιαγραφές και τονίζονται αυτές που ενδιαφέρουν περισσότερο.

7.1 Τεχνικές προδιαγραφές

Πίνακας 7.1 Τεχνικές Προδιαγραφές

Προδιαγραφή	Υπάρχον Προϊόν	Στόχος	Βελτίωση
Τιμή	~ Τριάντα ευρώ (30 €)	Μείωση 10%	10%
Αριθμός Υλικών	Πέντε (5)	Παραμένει ίδιο	-
Τρόπος Άλεσης	Κωνικό κεραμικό άλεστρο	Παραμένει ίδιο	-
Απαιτούμενη δύναμη άλεσης	15N	Κάτω από 10N	>28.5%
Ηλεκτρική Ενέργεια	Δεν απαιτείται	Παραμένει ίδιο	-
Απαιτούμενες κινήσεις για πρόσθεση καφέ και αφαίρεση των αλεσμένων κόκκων	<u>Πρόσθεση</u> : Δύο (2) γραμμικές κινήσεις <u>Αφαίρεση</u> : Μία (1) γραμμική και μία (1) περιστροφική	Παραμένει ίδιο	-
Απαιτούμενες κινήσεις για ρύθμιση του μεγέθους των αλεσμένων κόκκων	Μία (1) περιστροφική	Παραμένει ίδιο	-
Περιστροφές ανά γραμμάριο αλεσμένου καφέ (σε ρύθμιση μεσαίου μεγέθους κόκκων)	~ 8,5	Παραμένει ίδιο	-
Αριθμός τεμαχίων	16	Κάτω από 15	>6,25%
Μέγιστη απόκλιση στη διάμετρο των αλεσμένων κόκκων	1 mm	Κάτω από 0.5 mm	>50%
Χρόνος ζωής	Περίπου 2 χρόνια	3 χρόνια	~50%
Ετήσιο κόστος συντήρησης	Μηδενικό	Παραμένει ίδιο	-
Θόρυβος	62 db	Παραμένει ίδιο	-
Εμφάνιση	4 στην κλίμακα αξιολόγησης μας	Παραμένει ίδιο	-
Χωρητικότητα δοχείου άλεσης	28g	Παραμένει ίδιο	-
Βάρος προϊόντος	245g	Κάτω από 220g	>10%

8 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

8.1 Περιβάλλοντα γενικής χρήσης του λογισμικού CATIA

Για την υλοποίηση του βελτιωμένου προϊόντος στην παρούσα διπλωματική εργασία, όπως αναφέρθηκε και στα πρώτα κεφάλαια, έγινε χρήση του PLM λογισμικού CATIA. Χρησιμοποιήθηκε ένα μέρος από τα πολλά περιβάλλοντα (workbenches) που διαθέτει το λογισμικό. Κάποια από αυτά χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση βελτίωσης - αλλαγής, ενώ άλλα χρησιμοποιήθηκαν μεμονωμένα λόγω του πιο εξειδικευμένου χαρακτήρα τους.

Περιβάλλοντα που χρησιμοποιήθηκαν στη σχεδίαση για όλα τα τεμάχια, καινούργια και υπάρχοντα:



Sketcher

Χρησιμοποιείται για την σχεδίαση δισδιάστατων διατομών (sections) για χρήση σε 3D περιβάλλον.

Περιλαμβάνει:

- ▶ Εργαλεία για την δημιουργία διατομών.



- ▶ Εργαλεία για την διαχείριση περιορισμών (constraints).



- ▶ Εργαλεία για επεξεργασία του σχεδίου.



- ▶ Εργαλεία για ανάλυση του σχεδίου.



Part Design

Το Part Design παρέχει ένα βασικό σετ ολοκληρωμένων εργαλείων για το σχεδιασμό στερεών αντικειμένων. Χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα εργαλεία, σε συνδυασμό με τις διαθέσιμες πράξεις συνόλων (Άλγεβρα Boole), ο χρήστης μπορεί να δημιουργεί πολλαπλές όψεις και γεωμετρικές σχέσεις από τα

μοντέλα. Με εργαλεία διαχείρισης προδιαγραφών, οι οποιοσδήποτε αλλαγές πραγματοποιούνται γρήγορα και απλά. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιβάλλοντα πολλών χρηστών και αυξάνει την παραγωγικότητα.

Περιλαμβάνει:

- ▶ Εργαλεία για δημιουργία στερεών τεμαχίων χρησιμοποιώντας τις διατομές.



- ▶ Εργαλεία για διαμόρφωση των στερεών.



- ▶ Εργαλεία για δημιουργία στερεών τεμαχίων χρησιμοποιώντας επιφάνειες.



- ▶ Εργαλεία για μετασχηματισμό των στερεών.



- ▶ Εργαλεία για προσθαφαιρέσεις συνόλων των στερεών.



Wireframe and Surface

Το Wireframe and Surface χρησιμοποιείται για τη δημιουργία πλεγματικών και επιφανειακών αναπαραστάσεων. Επίσης μπορεί επίσης να εμπλουτίσει τη διαδικασία σχεδίασης στερεών μοντέλων με τη δυνατότητα δημιουργίας απλών επιφανειών.

Περιλαμβάνει:

- ▶ Εργαλεία για πλεγματικές αναπαραστάσεις.



- ▶ Εργαλεία για επιφανειακές αναπαραστάσεις.



- ▶ Εργαλεία για διαμόρφωση των αναπαραστάσεων.



- ▶ Εργαλεία για μετασχηματισμό των αναπαραστάσεων.



Περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε για φωτορεαλιστική αναπαράσταση:



Photo Studio

Χρησιμοποιείται για την δημιουργία φωτορεαλιστικών εικόνων και animation

Περιλαμβάνει:

- ▶ Εργαλεία για την διαμόρφωση του σκηνικού.



- ▶ Εργαλεία για την επεξεργασία της κίνησης.



- ▶ Εργαλεία για την απόδοση των εικόνων & animation.



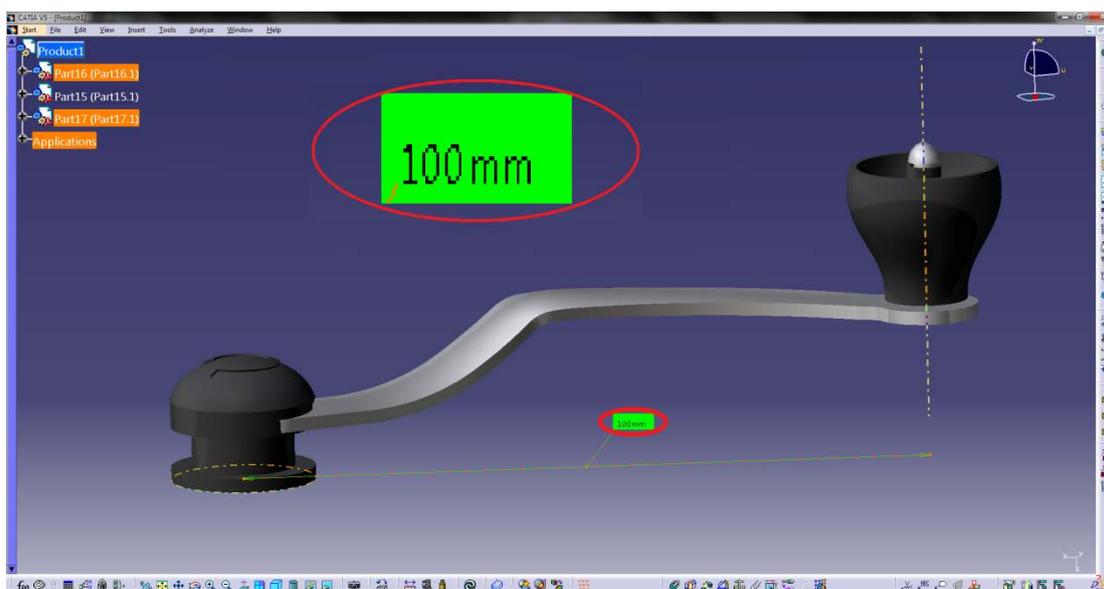
8.2 Αλλαγή χειρολαβής

8.2.1 Αύξηση μήκους

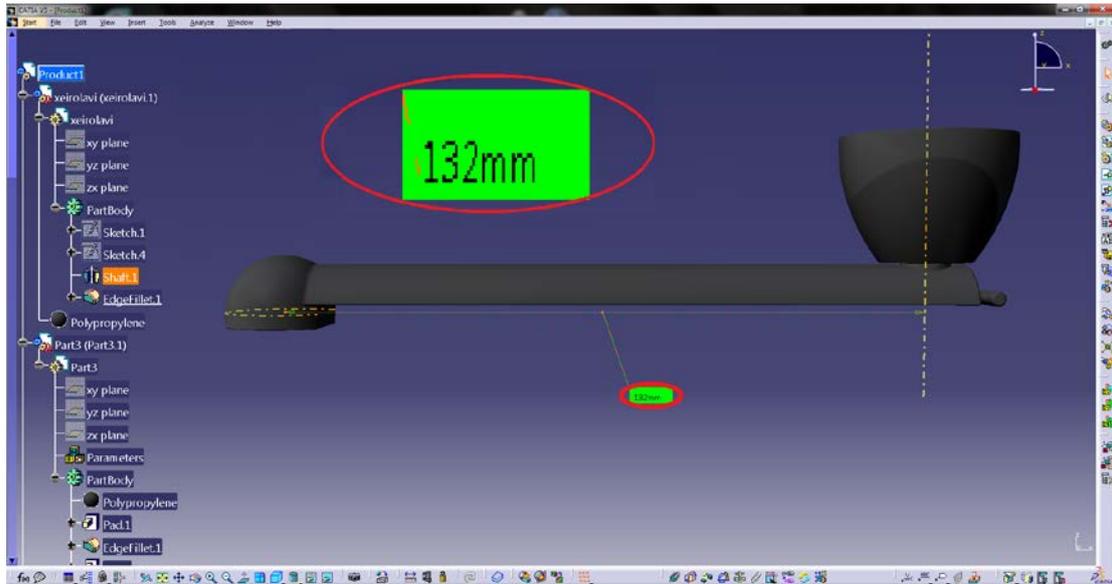
Στόχος: Μείωση της χειροκίνητης δύναμης που απαιτείται για την άλεση, μείωση του αριθμού μεθόδων παραγωγής των τεμαχίων, του συνολικού βάρους και του αριθμού των συνολικών τεμαχίων που αποτελούν το προϊόν.

Μεθοδολογία επίτευξης στόχου: Αντικατάσταση της υπάρχουσας χειρολαβής που αποτελείται από ένα μεταλλικό έλασμα, δύο τεμάχια από προπυλένιο και συνδετικό στοιχείο (πριτσίνι) με νέα αποτελούμενη από δύο μόνο τεμάχια, επίσης από προπυλένιο, κουμπωμένα μεταξύ τους.

Με, κατάλληλα διαμορφωμένο ροπόκλειδο, μετρήθηκε η απαιτούμενη ροπή που χρειάζεται για την περιστροφή του μύλου κατά την διαδικασία της άλεσης και βρέθηκε ότι έχει μέγιστη τιμή 1,5Nm. Διαιρώντας την τιμή αυτή με το μήκος της χειρολαβής βρέθηκε ότι η δύναμη που χρειάζεται να ασκήσει ο χρήστης ισούται με ~ 15N.



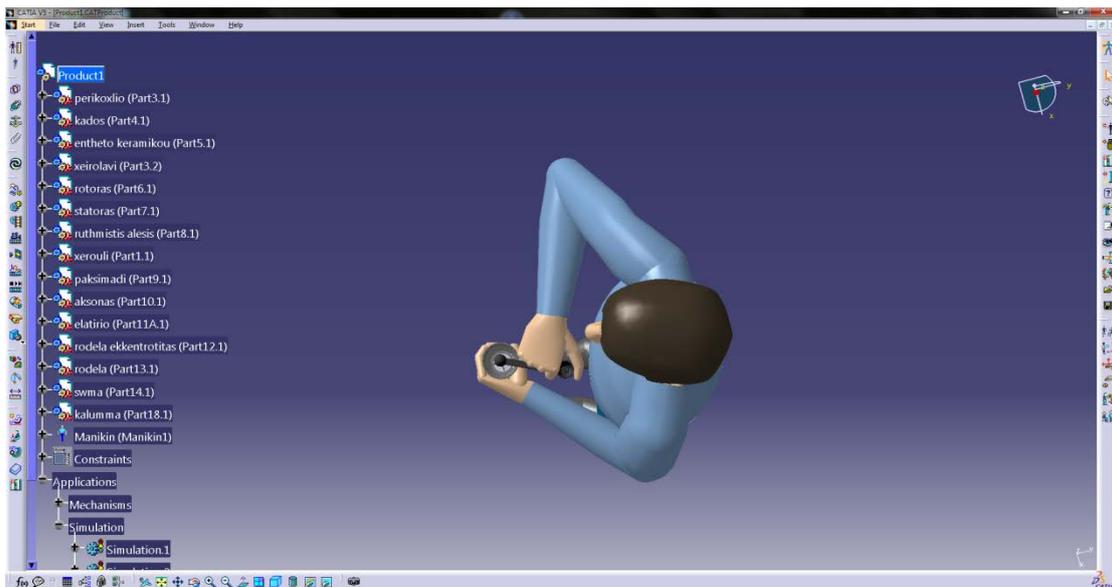
Σχήμα 8.1 Υπάρχουσα χειρολαβή με μήκος 100 mm

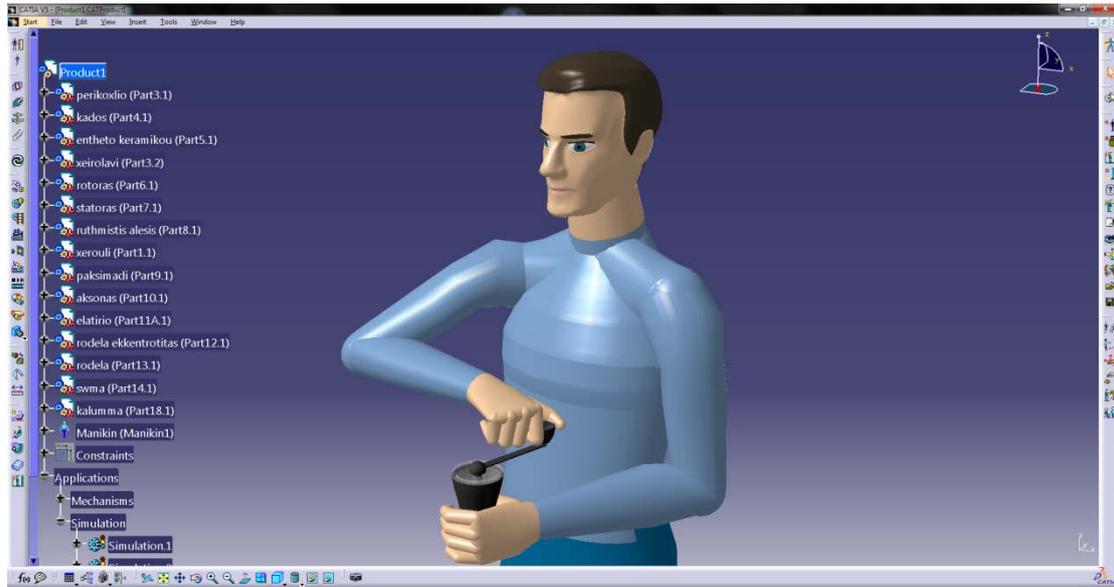


Σχήμα 8.2 Το καινούργιο χερούλι με μήκος 132 mm

Στο καινούργιο χερούλι αυξήθηκε το μήκος του έτσι ώστε να μειωθεί η απαιτούμενη δύναμη. Αυξήθηκε στα 132 mm και επομένως η απαιτούμενη δύναμη άλεσης μειώθηκε σε ~ 11,4 N.

Για να ελεγχθεί αν το συγκεκριμένο μήκος είναι λειτουργικά εντάξει χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον **Human Builder**.





Σχήμα 8.3 Αναπαράσταση της χρήσης του μύλου με το καινούργιο χερούλι από τα ανθρωπομορφικά μοντέλα του CATIA

Χρησιμοποιώντας τα ανθρωπομορφικά μοντέλα μπορεί να επιβεβαιωθεί ότι η κίνηση εκτελείται χωρίς πρόβλημα, και έτσι το μήκος που επιλέχθηκε κρίνεται αποδεκτό.

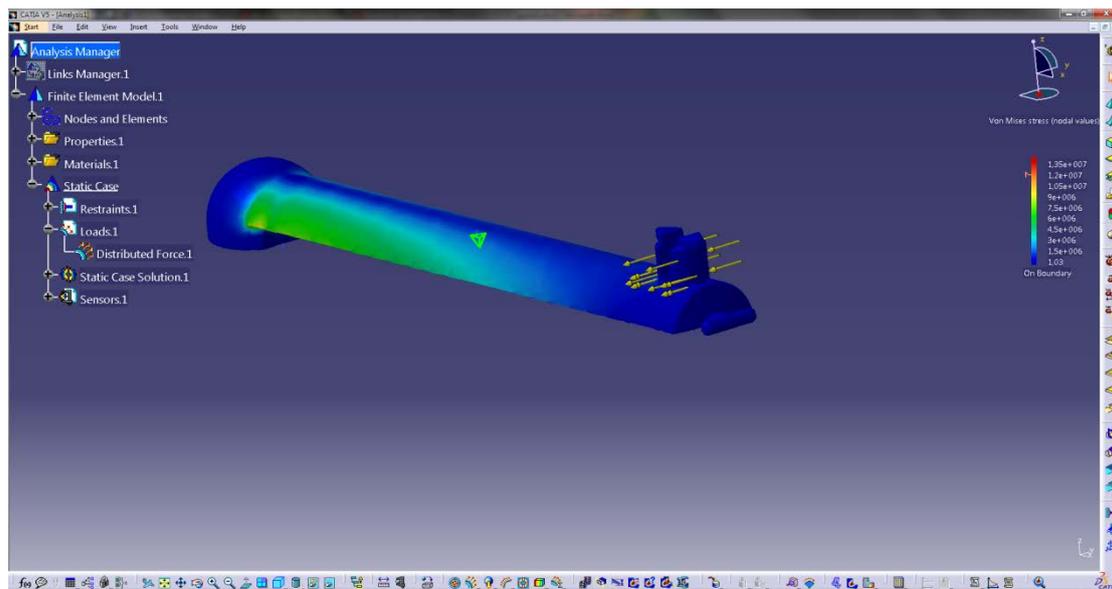
Για τον έλεγχο της αντοχής της καινούργιας χειρολαβής στην καταπόνηση φορτίων χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον **Generative Structural Analysis [24]**

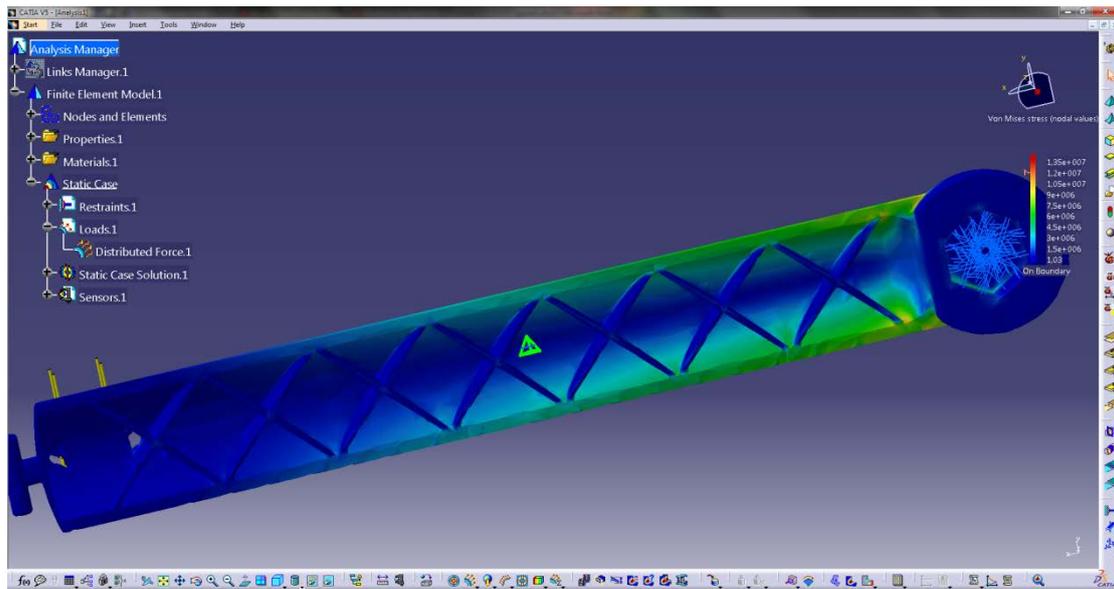


Στον πίνακα συνοπτικά αναφέρονται οι επιβαλλόμενες συνθήκες και φορτίσεις.

Πίνακας 8.1 Συνθήκες φόρτισης που επιλέχθηκαν για την εφαρμογή στο CATIA

<u>Είδος ανάλυσης:</u>	Στατική καταπόνηση
<u>Συστατικά στοιχεία πλέγματος:</u>	Τετράπλευρα
<u>Μέγεθος συστατικών στοιχείων:</u>	1 mm
<u>Υλικό:</u>	Πολυπροπυλένιο (PP)
<u>Στηρίξεις:</u>	Πάκτωση στο σημείο επαφής της χειρολαβής με το περικόχλιο
<u>Φορτίο:</u>	Περιφερειακή κατανεμημένη δύναμη στο σημείο επαφής του κομβίου συγκράτησης με το διχαλωτό κλιπ μέτρου 11,36 N.





Σχήμα 8.4 Αναπαράσταση της κατανομής τάσεων στο καινούργιο χερούλι ασκώντας την απαιτούμενη δύναμη άλεσης.

Με τα εργαλεία που παρέχει το περιβάλλον εφαρμόστηκε δύναμη ίση με την μετρούμενη δύναμη κατά την διαδικασία της άλεσης στο σημείο εφαρμογής της. Χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων μελετήθηκαν τα κρίσιμα σημεία, αυτά με την μέγιστη τάση, και παρατηρήθηκε ότι βρίσκονται κάτω από το όριο διαρροής του υλικού (πολυπροπυλενίου) ακόμα και αν πολλαπλασιαστούν με συντελεστή ασφαλείας 2.

$$\boxed{\text{Μέγιστη τάση} = 1,238 * 10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \times 2 < \boxed{\text{Όριο διαρροής} = 2,5 * 10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

Παράλληλα επιτεύχθηκε η μείωση των κατεργασιών των τεμαχίων. Η παραγωγή του προϊόντος απαλλάχθηκε από το έλασμα μετάλλου και την διεργασία κάμψης του.

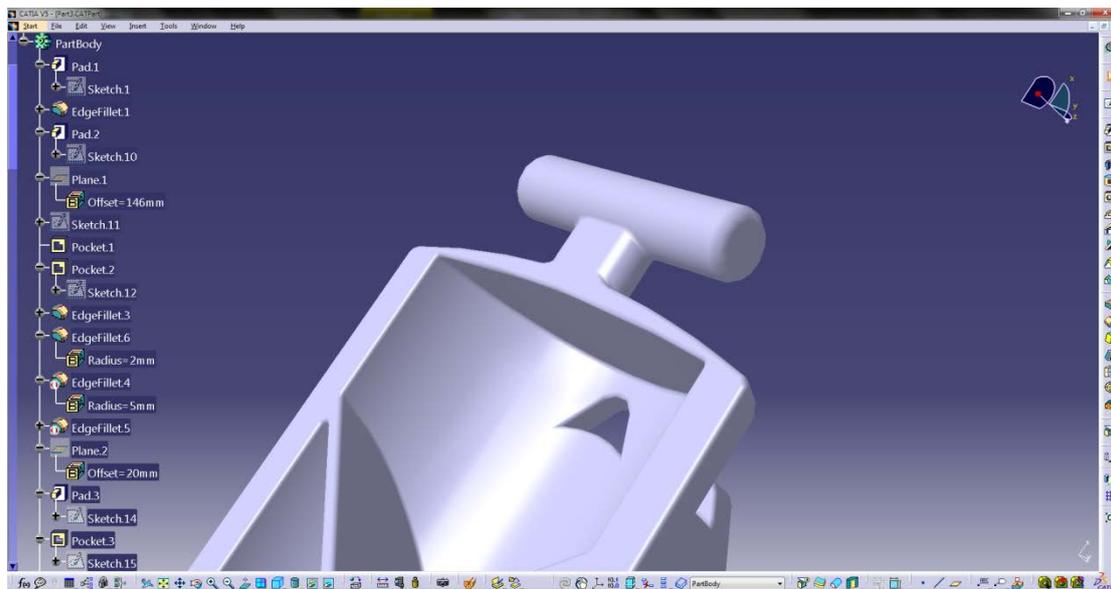
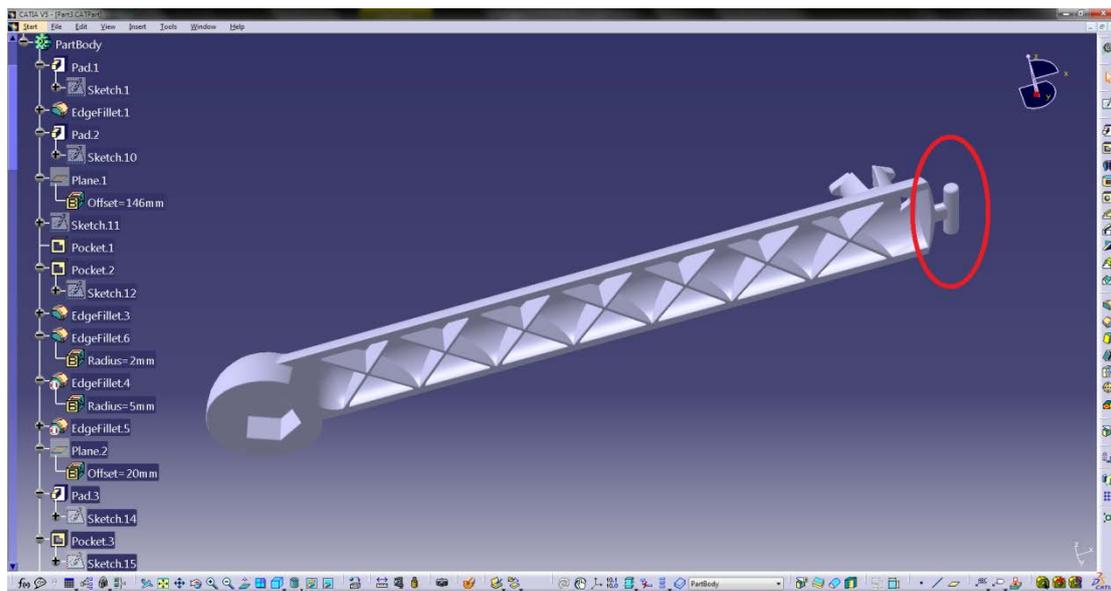
Επίσης επιτεύχθηκε η μείωση των τεμαχίων από τέσσερα σε δύο.

8.2.2 Δημιουργία διαμόρφωσης για την συρταρωτή προσάρτηση της χειρολαβής πάνω στο σώμα του μύλου.

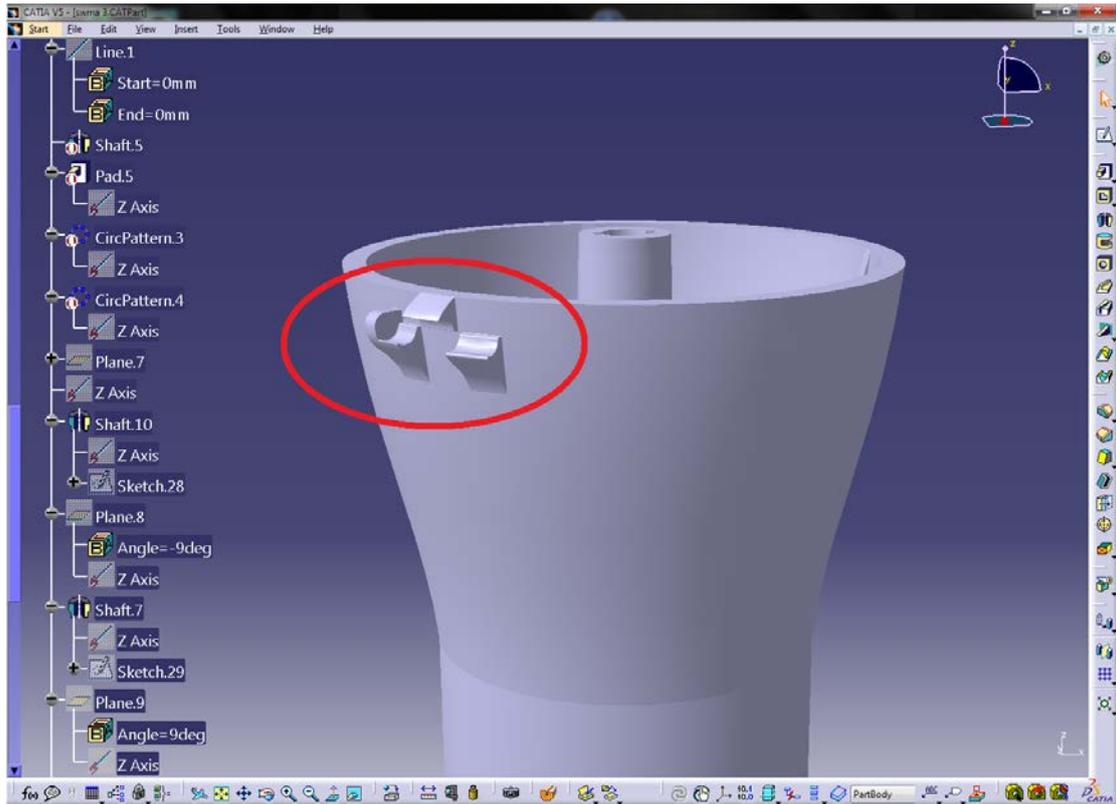
Στόχος: Συγκράτηση των τεμαχίων που αποτελούν το τελικό προϊόν σε ένα συναρμολογημένο σύνολο κομματιών για απρόσκοπτη μεταφορά και αποθήκευση.

Μεθοδολογία επίτευξης στόχου: Δημιουργία κατάλληλης διαμόρφωσης στο σώμα και στη χειρολαβή έτσι ώστε να γίνεται συρταρωτή προσάρτηση της τελευταίας πάνω στο σώμα με 2 περιστροφές.

Στα σχήματα 8.5-6 παρουσιάζονται οι επιλεγείσες νέες διαμορφώσεις:



Σχήμα 8.5 Διαμόρφωση προσάρτησης στο καινούργιο χερούλι.



Σχήμα 8.6 Διαμόρφωση προσάρτησης στο καινούργιο σώμα.

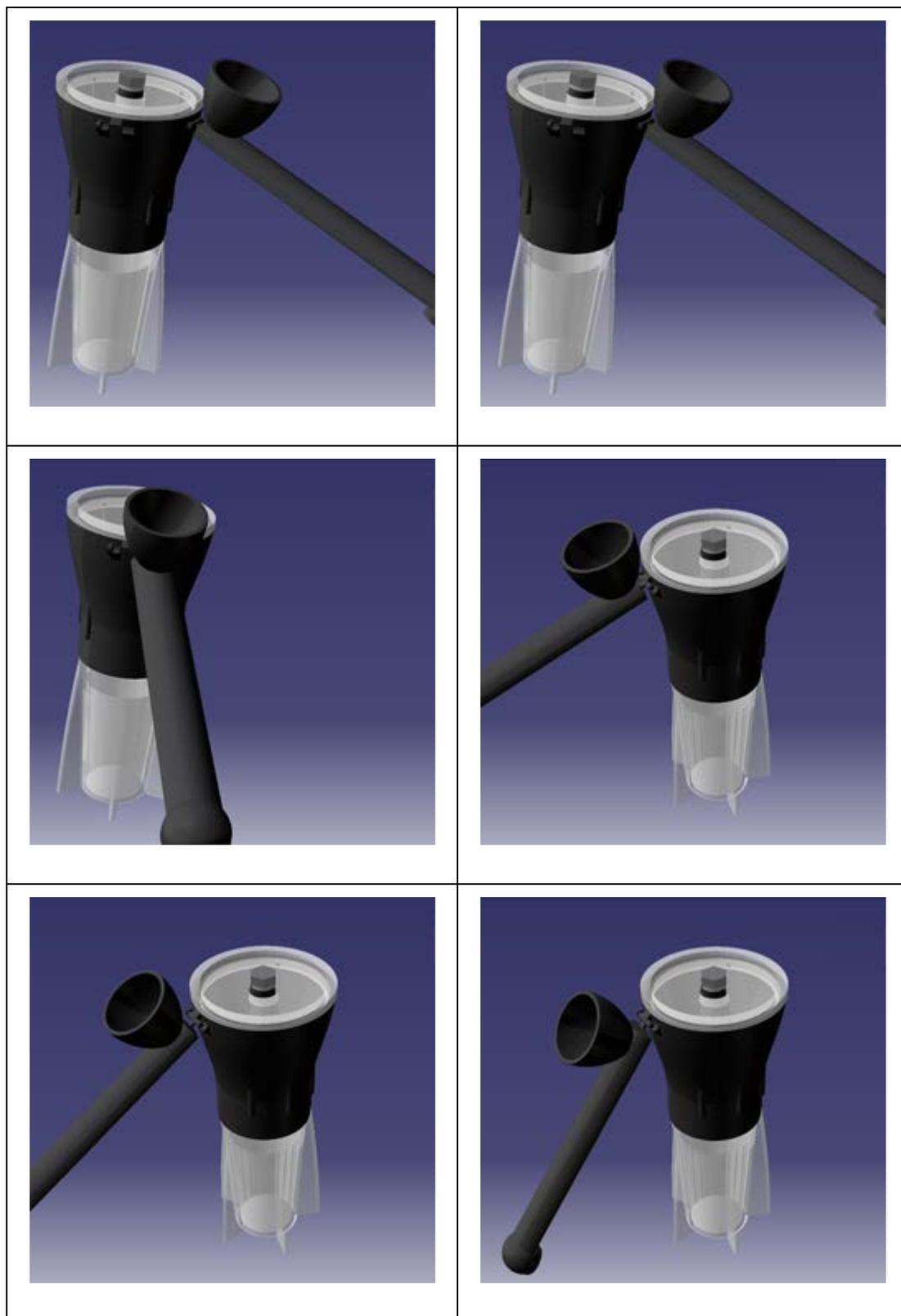
Για την παρουσίαση της διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον **DMU Kinematics Simulator** [25]



Το περιβάλλον αυτό παρέχει εργαλεία για την προσομοίωση της κίνησης συνεργαζόμενων μερών.

Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζεται η διαδικασία

Πίνακας 8.2 Αναπαράσταση διαδικασίας προσάρτησης της χειρολαβής.





Από τα σχήματα του Πίνακα 8.2 παρατηρείται ότι με 2 απλές περιστροφικές κινήσεις η χειρολαβή προσαρτείται συρταρωτά πάνω στο μύλο για την μεταφορά – αποθήκευση του.

8.3 Επανακαθορισμός τάξης ανοχών

Στόχος: Μείωση της διακύμανσης στη διάμετρο των αλεσμένων κόκκων.

Μεθοδολογία επίτευξης στόχου: Το γεγονός ότι το άλεστρο δεν έχει σταθερό μέγεθος ανοίγματος για την έξοδο των αλεσμένων κόκκων, οφείλεται στην απόκλιση εκκεντρότητας μεταξύ στάτορα και ρότορα. Αιτία είναι η εμφανιζόμενη χάρη κατά τη λειτουργία (τζόγος) μεταξύ των κεραμικών αλέστρων και των συνεργαζόμενων πλαστικών. Αυτή με τη σειρά της αποδίδεται στην υιοθέτηση χαμηλής τάξεων ανοχών στα πλαστικά μέρη του συναρμολογημένου συνόλου που επιτελεί την άλεση, που έχουν ως αποτέλεσμα την μεγάλη διακύμανση από τις ονομαστικές διαστάσεις που έχουν αρχικά οριστεί από τον σχεδιαστή του προϊόντος. Εδώ έγινε προσπάθεια να καθοριστεί καλύτερη τάξη ανοχών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή του βελτιωμένου προϊόντος με την προϋπόθεση να ικανοποιεί την οικονομική βιωσιμότητα του.

Ανοχές / Γενικά:

Από το 1973 μέχρι το 2012 οι σχεδιαστές/κατασκευαστές θερμοπλαστικών χύτευσης με έγχυση χρησιμοποιούσαν το DIN 16901 για να καθορίζουν τις επιτεύξιμες ανοχές. Η εξέλιξη των μηχανημάτων όμως καθώς και οι ανάγκες για μεγαλύτερη ακρίβεια οδήγησαν την αντικατάσταση του από το πρόσφατο DIN 16742.

Για τον χαρακτηρισμό των αποκλίσεων των κρίσιμων διαστάσεων, χρησιμοποιήθηκε το παλαιότερο DIN 16901 καθώς και πίνακας καθορισμού ανοχών (Πίνακας 8.2) που υιοθετείται στην κατασκευαστική πράξη (David Kazmer).

Πίνακας 8.3 Ανοχές για κάθε μέθοδο παραγωγής. Πίνακας από: Design of Plastic Parts του David Kazmer.

<u>Ανοχές σε ποσοστό της ονομαστικής τιμής.</u>	Extrusion	Injection Molding	Thermoforming	Blow Molding
Χαμηλή (Loose)	5%	2%	2%	2%
Μεσαία Standard	2%	1%	1%	1%
Υψηλή (Tight)	1%	0.4%	0.5%	0.5%
Μέγιστη (Achievable)	0.4%	0.1%	0.2%	0.2%

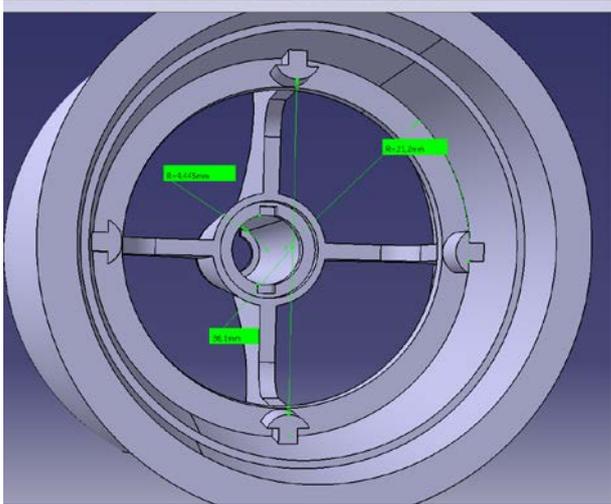
Οι κρίσιμες διαστάσεις που επηρεάζουν την εκκεντρότητα μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας διακριβωμένο παχύμετρο ακρίβειας 0.01 mm. Για τα μη προσβάσιμα από το παχύμετρο σημεία, χρησιμοποιήθηκε επίσης η μετρητική μηχανή συντεταγμένων (CMM) DEA MISTRAL του Εργαστηρίου ΤΚΠ & Ε – ΑΣ της Σχολής Μ-Μ (Σχήμα 8.5) .



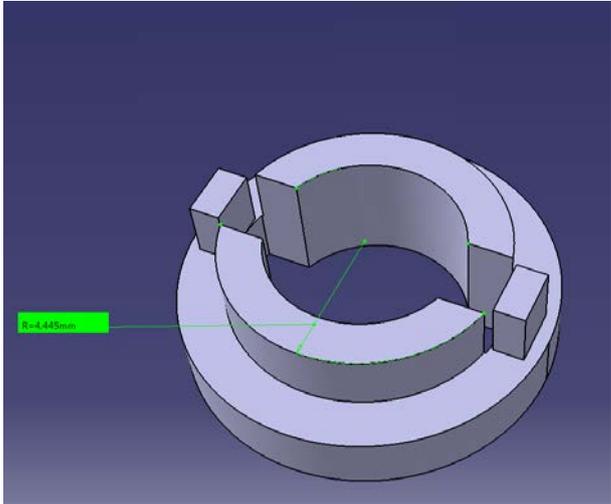
Σχήμα 8.7 Χρήση CMM εργαστηρίου για την ακριβή μέτρηση των διαστάσεων

8.3.1 Μέτρηση και αξιολόγηση αποκλίσεων:

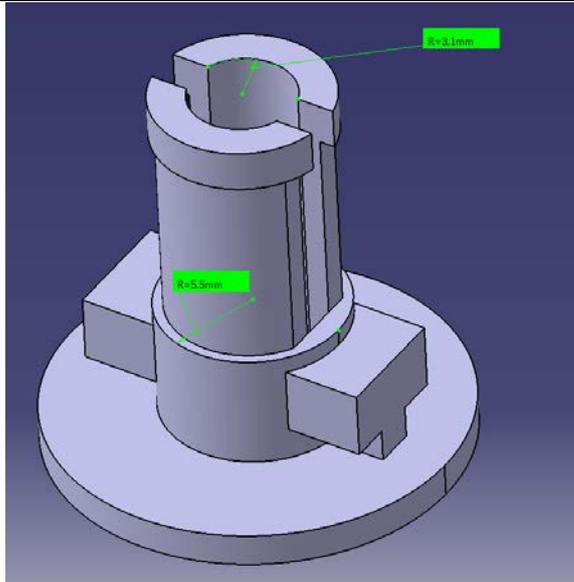
Πίνακας 8.4 Κέλυφος

	Απόσταση: 36.1mm
	Ονομαστική : 35mm
	Απόκλιση: 1.1mm (3.14%)
	Τάξη ανοχών: Χαμηλή
	Ακτίνα (R): 4.445mm
	Ονομαστική (R): 4.5mm
	Απόκλιση: 0.055mm (1.22%)
	Τάξη ανοχών: Μεσαία
	Ακτίνα (R): 21.2mm
	Ονομαστική (R): 20mm
Απόκλιση: 1.2mm (6.00%)	
Τάξη ανοχών: Χαμηλή	

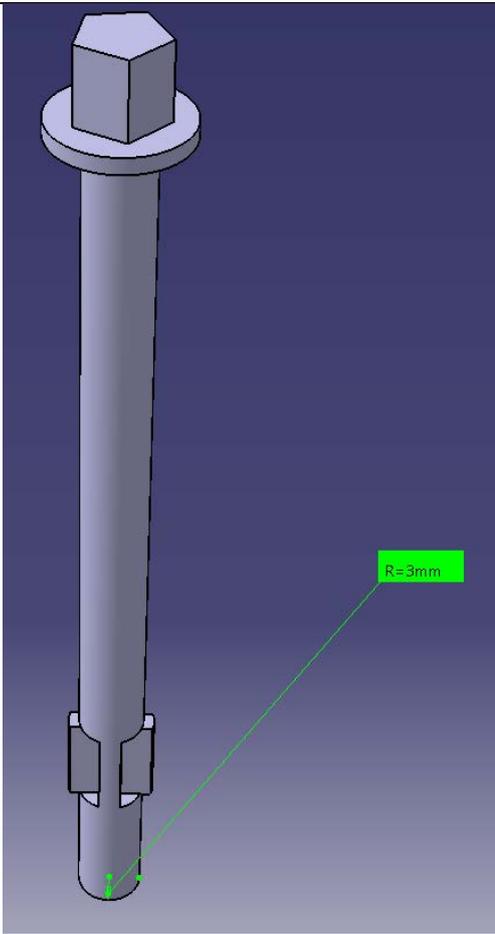
Πίνακας 8.5 «Έδρανο» άξονα

	Ακτίνα (R): 4.445mm
	Ονομαστική (R): 4.5mm
	Απόκλιση: 0.055mm (1.22%)
	Τάξη ανοχών: Μεσαία

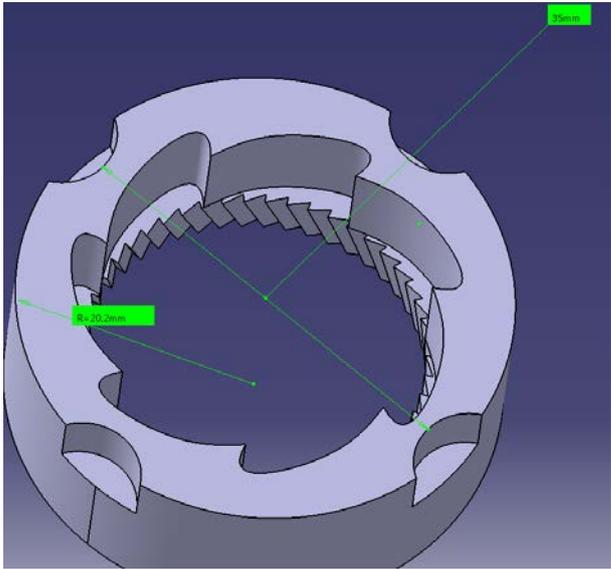
Πίνακας 8.6 Στέλεχος στερέωσης ρότορα

	Ακτίνα (R): 3.1mm
	Ονομαστική (R): 3mm
	Απόκλιση: 0.1mm (3.33%)
	Τάξη ανοχών: Χαμηλή
	Ακτίνα (R): 5.5mm
	Ονομαστική (R): 5.5mm
	Απόκλιση: 0.0mm (0.00%)
	Τάξη ανοχών: Μέγιστη

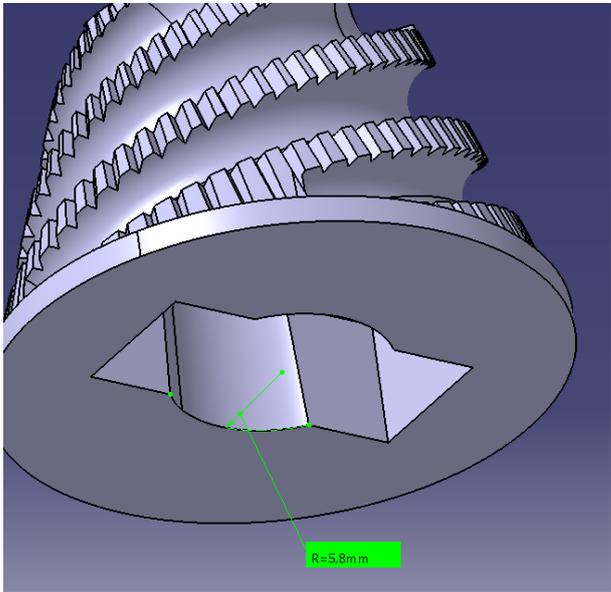
Πίνακας 8.7 Άξονας

	Ακτίνα (R): 3 mm
	Ονομαστική (R): 3mm
	Απόκλιση: 0.0mm (0.00%)
	Τάξη ανοχών: Μέγιστη

Πίνακας 8.8 Στάτορας άλεσης

	Απόσταση: 35mm
	Ονομαστική (R): 35mm
	Απόκλιση: 0.0mm (0.00%)
	Τάξη ανοχών: Μέγιστη
	Ακτίνα (R): 20.2mm
	Ονομαστική (R): 20mm
	Απόκλιση: 0.2mm (1.00%)
	Τάξη ανοχών: Μεσαία

Πίνακας 8.9 Ρότορας άλεσης

	Ακτίνα (R): 5.8mm
	Ονομαστική (R): 5.5mm
	Απόκλιση: 0.3mm (5.45%)
	Τάξη ανοχών: Χαμηλή

Παρατηρείται ότι αυτό που χρήζει σημαντικής βελτίωσης είναι το σώμα (κέλυφος) του μύλου στη θέση όπου έρχεται σε επαφή με τον κεραμικό στάτορα της άλεσης. Εκεί είναι φανερό ότι ενώ η συναρμογή μεταξύ τους έπρεπε να σφιχτή αντιθέτως υπάρχει μεγάλο κενό. Αυτό έχει αντίκτυπο στο κενό που δημιουργείται μεταξύ ρότορα – στάτορα.

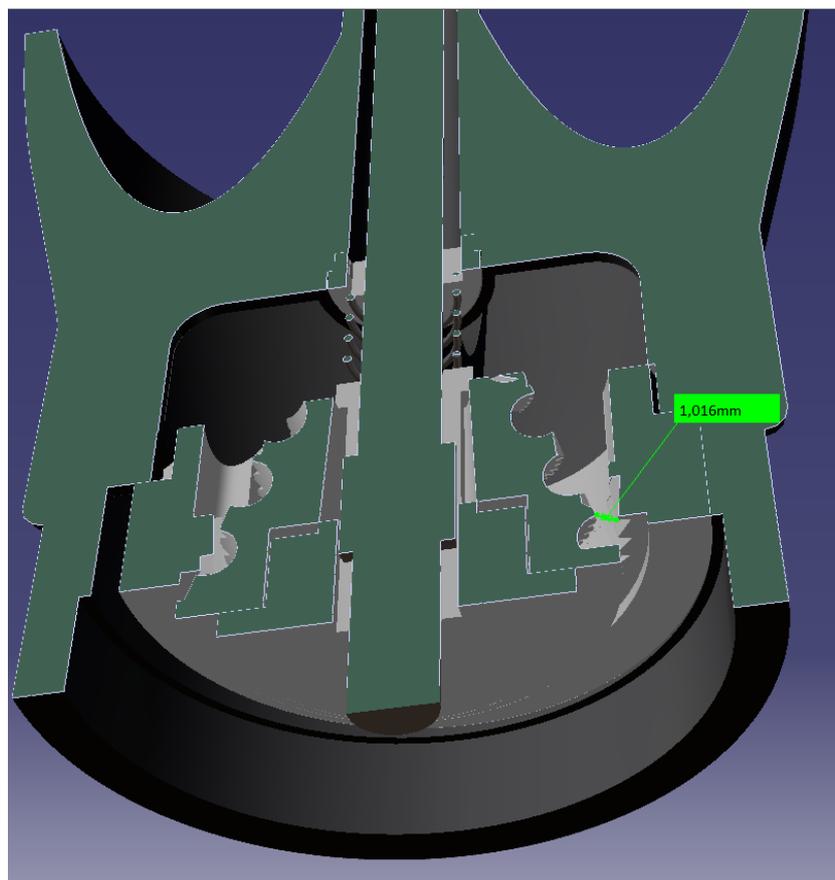
Για να γίνει μια ρεαλιστική μέτρηση της απόστασης του κενού μεταξύ ρότορα – στάτορα χρειάζεται να γίνει μια αναπαράσταση του συναρμολογημένου μύλου σε τομή.

Για αυτή την διεργασία χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον **Assembly Design**.

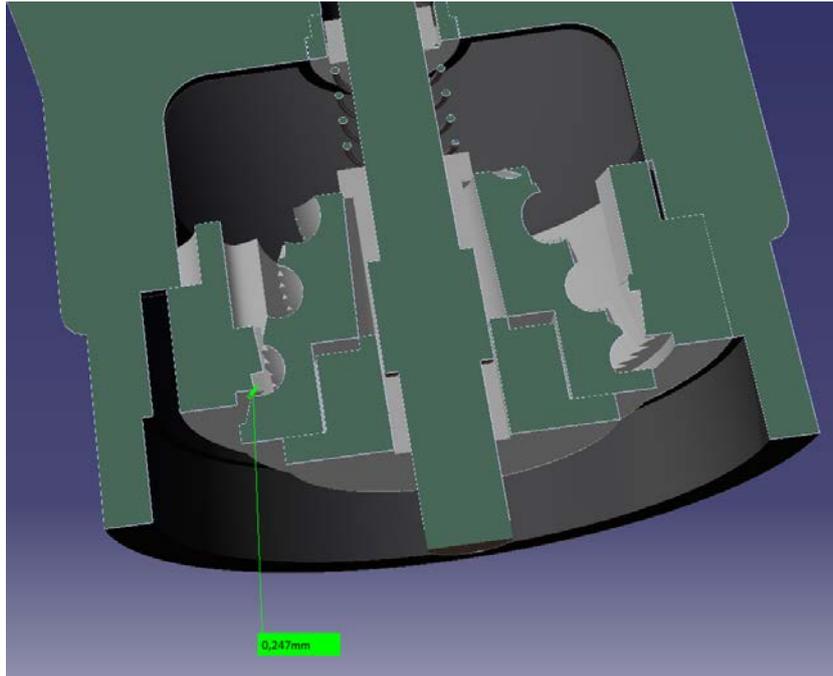


Χρησιμοποιώντας τα εργαλεία που παρέχει έγινε συναρμολόγηση των επιμέρους τεμαχίων που συνθέτουν τον μύλο και ακολούθως παρουσιάστηκε η τομή του συνόλου σε ρεαλιστική αναπαράσταση χωρίς καταστροφή του υπάρχοντος δείγματος.

Στα σχήματα 8.8-9 παρουσιάζονται το ζεύγος στάτορα – ρότορα και οι δύο εκατέρωθεν αποστάσεις τους στην τομή, με τις εμφανιζόμενες αποκλίσεις στην ακραία περίπτωση όπου ο στάτορας ακουμπάει το σώμα.



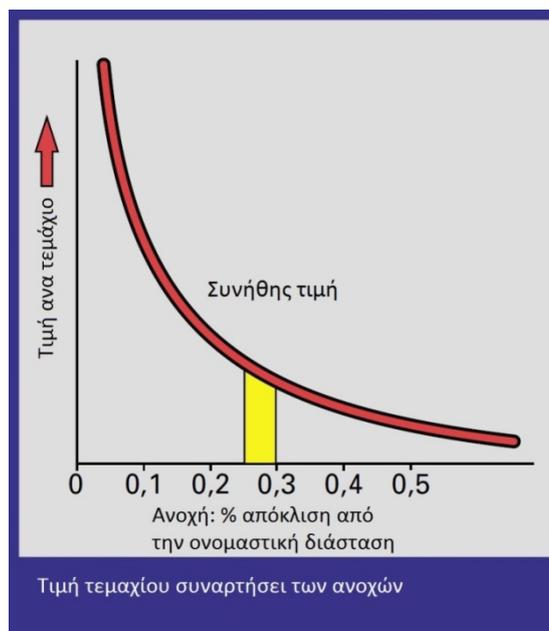
Σχήμα 8.8 Απόσταση: 1,016 mm



Σχήμα 8.9 Απόσταση: 0,247 mm

Είναι φανερό ότι διαφέρουν κατά πολύ με αποτέλεσμα το μέγεθος των αλεσμένων κόκκων να ποικίλει με μεγάλες αυξομειώσεις. Σε μια τυχαία θέση βλέπουμε ότι η διαφορά των δύο αποστάσεων είναι περίπου $\sim 0.75\text{mm}$

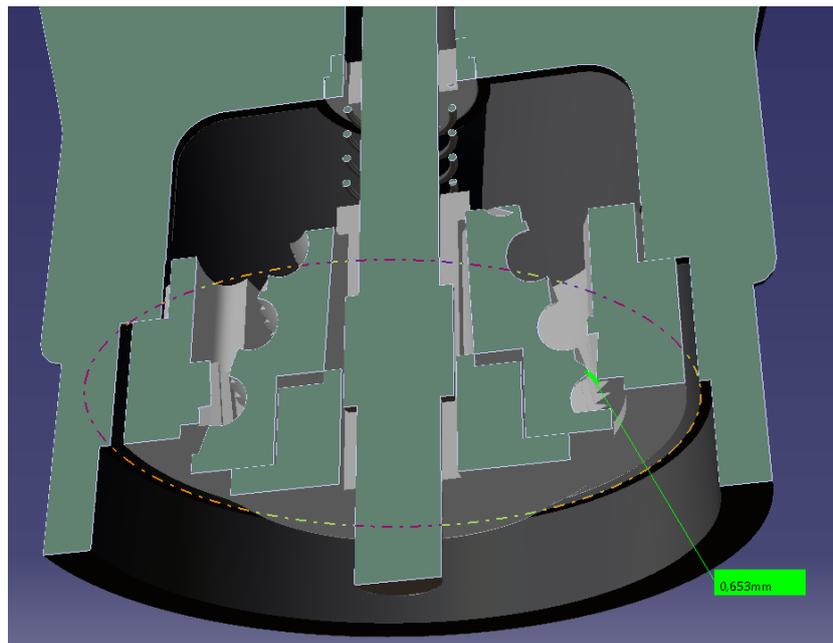
Στο Σχήμα 8.10 παρουσιάζεται η σχέση της τάξης ανοχών με το κόστος επίτευξης της. Μια οικονομική ανοχή είναι μεταξύ 0,6 και 0,8 % της ονομαστικής διάστασης.



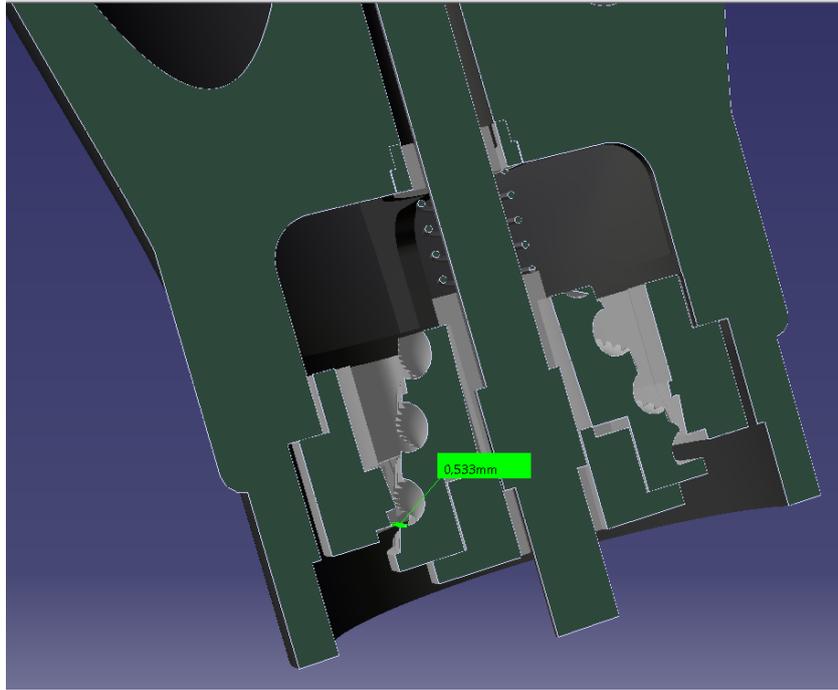
Σχήμα 8.10 Γραφική Παράσταση που δείχνει τη σχέση ανοχών - κόστους από την εταιρεία κατασκευής πλαστικών Dupont

Το σημείο του εξαρτήματος του οποίου στοχεύουμε να βελτιώσουμε την τάξη ανοχών του έχει ονομαστική διάμετρο 20mm. Αν υιοθετήσουμε την μεσαία τάξη ανοχών από τον Πίνακα 8.2 του D. Kazmer για τη διεργασία της χύτευσης με έγχυση η απόκλιση της διάστασης μειώνεται από 1,2 mm (6.00%) στο 0,2 mm (1%). Δηλαδή, το κενό μεταξύ ρότορα και στάτορα θα γίνει πιο ομοιόμορφο με επέκταση την μεγαλύτερη ομοιομορφία των αλεσμένων κόκκων.

Στα σχήματα 8.11-12 παρουσιάζονται οι αποστάσεις στο καινούργιο τεμάχιο σε τυχαίες τομές. Η απόσταση μειώθηκε στο περίπου ~ 0,1 mm. Έγινε, δηλαδή, μια σημαντική βελτίωση.



Σχήμα 8.11 Απόσταση: 0,653 mm



Σχήμα 8.12 Απόσταση: 0,533 mm

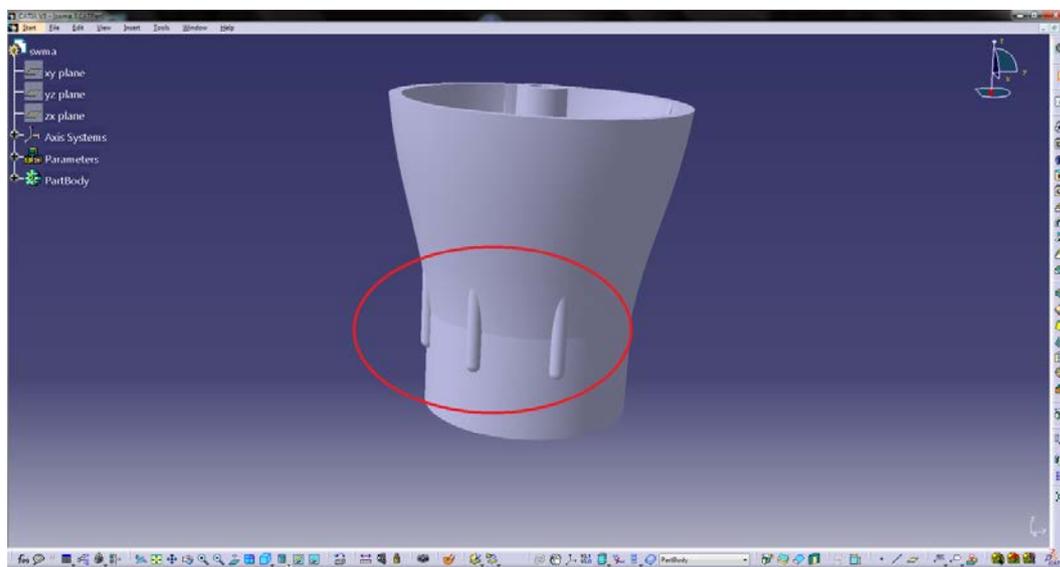
8.4 Διαμόρφωση μορφολογικών στοιχείων ενισχυμένης συγκράτησης.

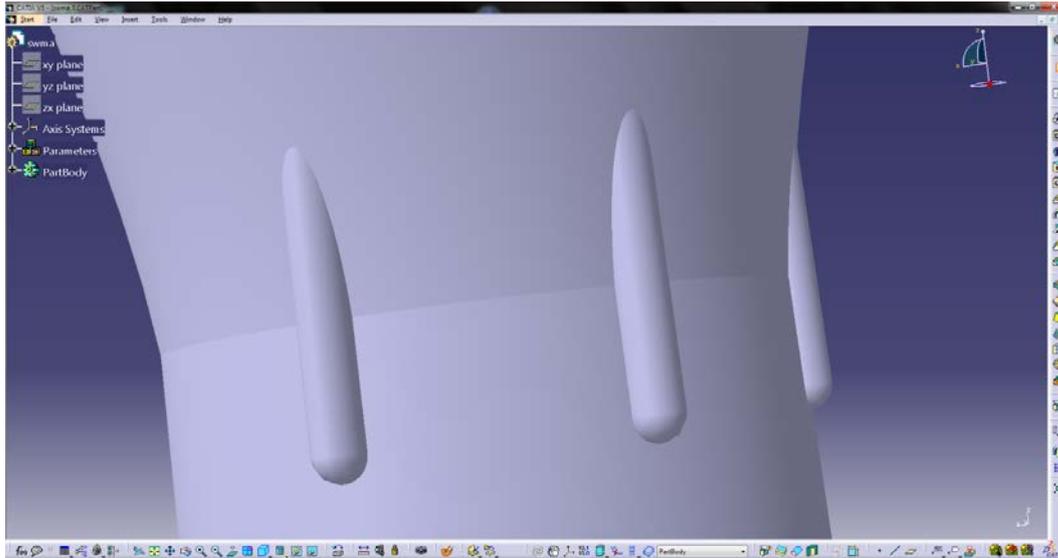
Σύμφωνα με τις αρχές της εργονομίας και του σχεδιασμού μορφολογικών στοιχείων χειρός όταν σχεδιάζουμε ή επιλέγουμε εργαλεία των οποίων ο χειρισμός πραγματοποιείται με τα άνω άκρα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω αρχές: [27]

- Η στατική φόρτιση των μυών και η πίεση των σημείων επαφής του σώματος με τα εργαλεία κατά το χειρισμό πρέπει να είναι η μικρότερη δυνατή.
- Η δύναμη που καταβάλλει ο εργαζόμενος για να χειριστεί το εργαλείο, πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή.
- Ο χειρισμός των εργαλείων πρέπει να γίνεται με την εμπλοκή όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ομάδας μυών.
- Ο χειρισμός των εργαλείων πρέπει να γίνεται με τις αρθρώσεις κοντά στην ουδέτερη στάση.
- Οι επιφάνειες των εργαλείων που έρχονται σε επαφή με την επιδερμίδα πρέπει να μην είναι ολισθηρές.

Στόχος: Μείωση της απαιτούμενης δύναμης συγκράτησης του μύλου κατά την διαδικασία άλεσης.

Μεθοδολογία επίτευξης στόχου: Πρόσθεση διαμόρφωσης στο σώμα του μύλου που θα δυσκολεύει την ολίσθηση του.





Σχήμα 8.13 Διαμόρφωση συγκράτησης στο καινούργιο σώμα

Στο σχήμα 8.13 φαίνονται οι διαμορφώσεις και γίνεται εμφανής η καλύτερευση της συγκράτηση του μύλου.

8.5 Επιμέρους βελτιώσεις στον άξονα.

Στόχος: Αύξηση του χρόνου ζωής του προϊόντος

Στο πάνω μέρος του άξονα (Σχήμα 8.14) παρατηρείται φθορά από την τριβή με τη χειρολαβή. Η οπή της χειρολαβής είναι μεγαλύτερη από το πάνω μέρος του άξονα το οποίο περικλείει. Αυτό προκαλεί την μη ταύτιση των αξόνων του άξονα και της οπής της χειρολαβής, κατά την άλεση, με αποτέλεσμα οι ακμές από τα τοιχώματα της οπής να φθείρουν τις ακμές της πενταγωνικής διαμόρφωσης. Με την μακρόχρονη χρήση η φθορά αυτή προκαλεί την δυσλειτουργία του μύλου και χρειάζεται αντικατάσταση ο άξονας.



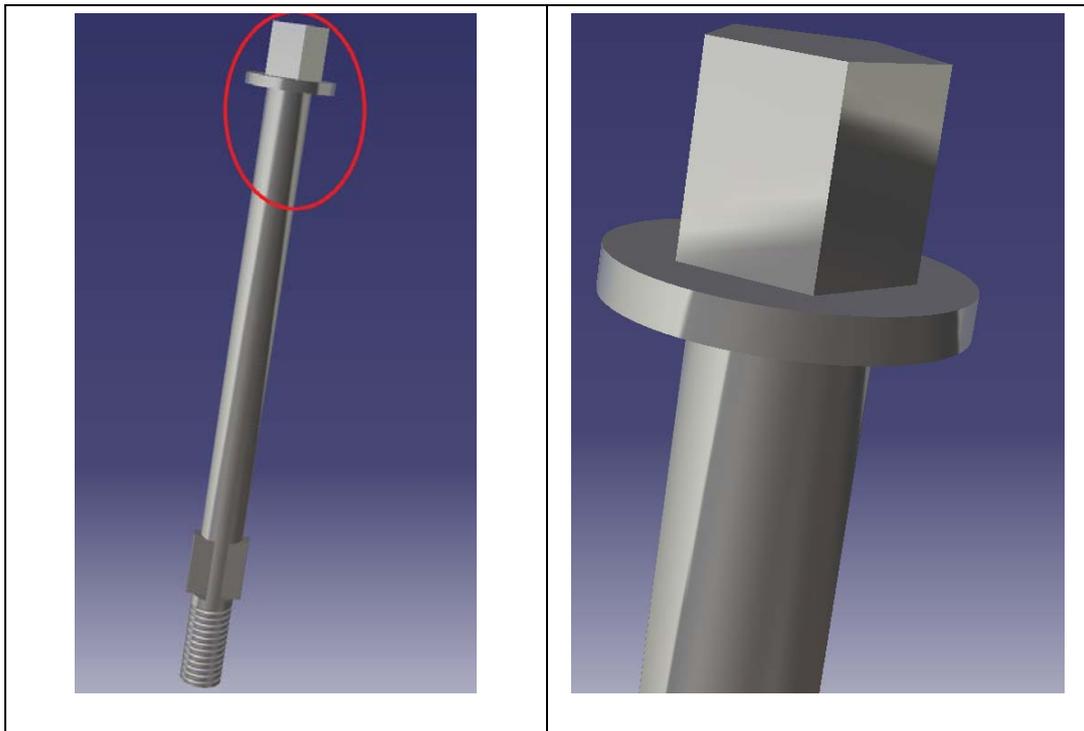
Σχήμα 8.14 Φθορά από τριβή στον άξονα

Μεθοδολογία επίτευξης στόχου: Αντικατάσταση της διαμόρφωσης που γίνεται στο πάνω μέρος του άξονα με σπειρώμα όπου θα βιδώνεται «τυφλό» τυποποιημένο περικόχλιο (M6) με εξαγωνικό σχήμα. Με την αντικατάσταση της διαμόρφωσης με το περικόχλιο η καινούργια χειρολαβή, η οποία θα έχει μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής, θα εφαρμόζει καλύτερα στο σημείο ένωσης τους και έτσι θα αποφευχθεί η φθορά από την τριβή. Πλέον ο άξονας δεν θα χρειάζεται αντικατάσταση και με αυτόν τον τρόπο επεκτείνεται, γενικότερα, ο χρόνος ζωής του μύλου. Η κατεργασία για την δημιουργία του σπειρώματος δεν θα προσθέτει σημαντικό κόστος αφού ήδη εφαρμόζεται για το κάτω μέρος του άξονα.

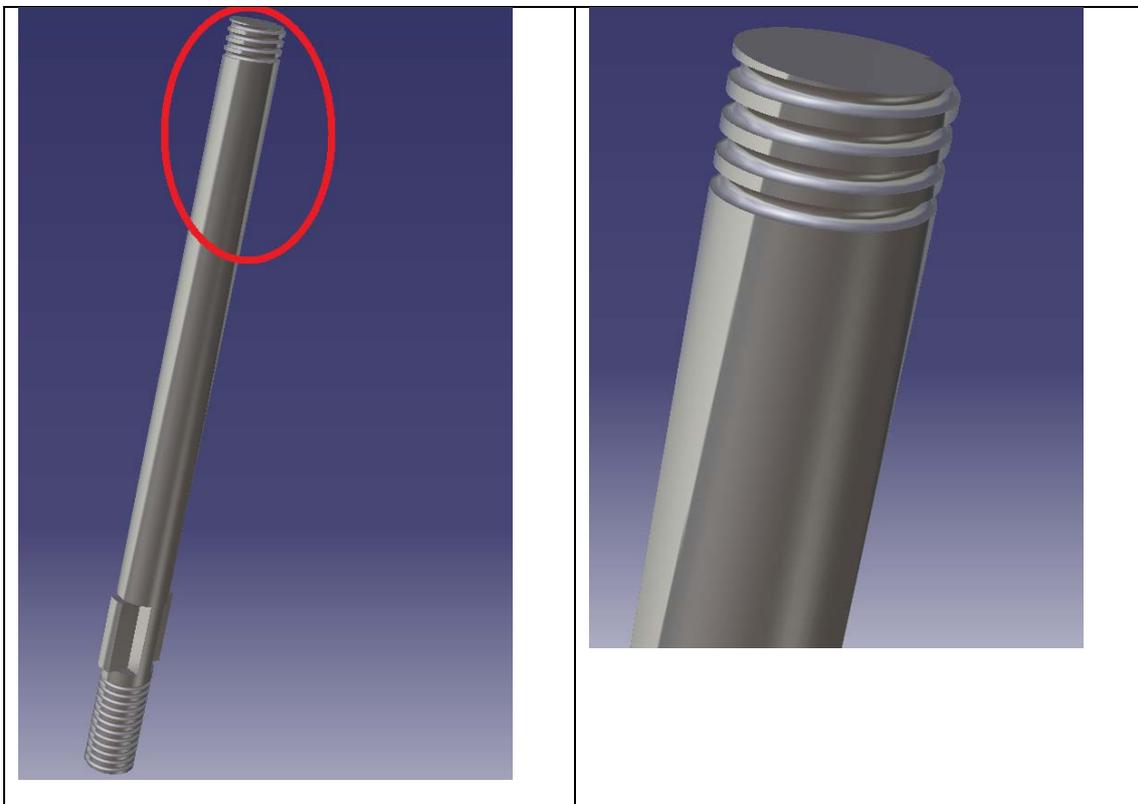
Η δεξιόστροφη φορά κοχλίωσης του περικοχλίου ταυτιζόμενη με την δεξιόστροφη φορά περιστροφής της χειρολαβής αποκλείει την περίπτωση αποκοχλίωσης του.

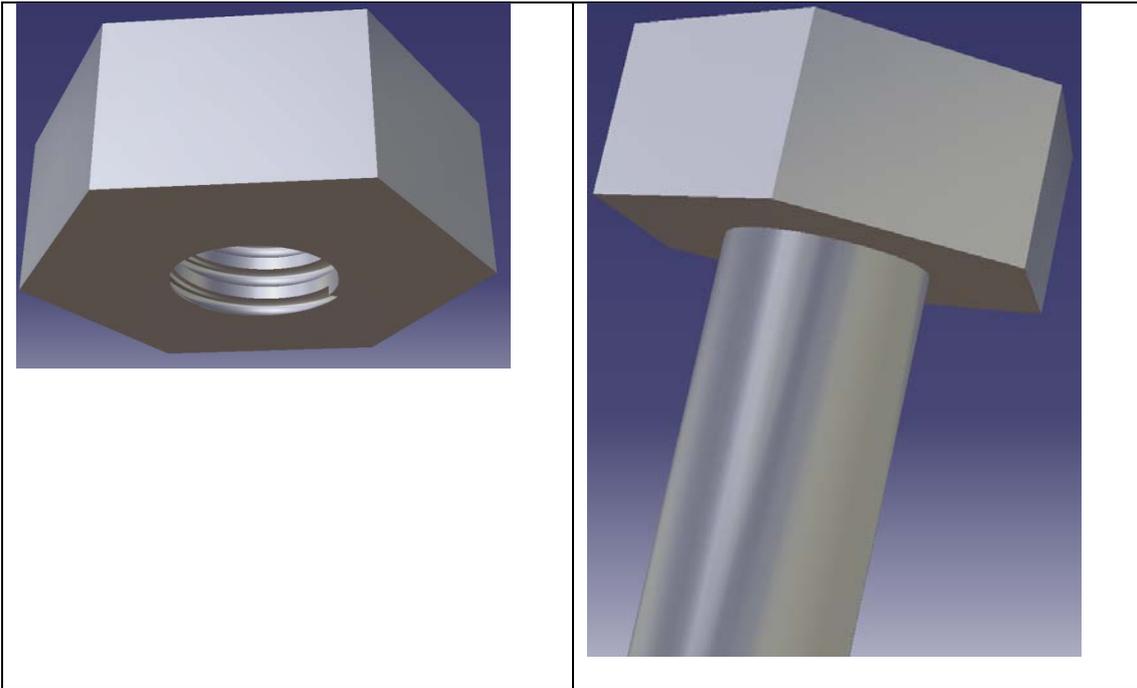
Στον Πίνακα 8.9 παρουσιάζεται η διαμόρφωση στον υφιστάμενο άξονα και στον Πίνακα 8.10 η προτεινόμενη σχεδίαση συνεργασίας άξονα - περικοχλίου.

Πίνακας 8.10 Πενταγωνική διαμόρφωση στον υφιστάμενο άξονα



Πίνακας 8.11 Σπείρωμα και περικόχλιο στον καινούργιο άξονα





Παράλληλα με αυτήν την εναλλακτική λύση επιτυγχάνουμε μείωση του αριθμού των κατεργασιών αφού δεν θα χρειάζεται η σφυρηλάτηση για την διαμόρφωση που υπάρχει στον υπάρχοντα άξονα.

8.6 Αλλαγή βάσης (κάδου)

Στόχος: Μείωση του κόστους καλουπιού του, του βάρους του κάδου και διαμόρφωση επιφάνειας διεπαφής με το χρήστη που συμβάλλει στην ευκολότερη συγκράτηση του μύλου. Διατήρηση της ευστάθειας στο ίδιο τουλάχιστον επίπεδο.

Μεθοδολογία επίτευξης στόχου: Πλήρης αλλαγή της μορφής της βάσης (κάδου).



Σχήμα 8.15 Υπάρχουσα βάση(κάδος).



Σχήμα 8.16 Καινούργια βάση (κάδος).

Παρατηρείται ότι η καινούργια βάση είναι πιο απλή ως προς τον τρόπο κατασκευής της και έτσι εξαλείφεται ένα τμήμα του καλουπιού της.

8.7 Αλλαγή υλικού βάσης και καλύμματος

Αντικατάσταση του πολυμερές από το μεθακρυλικό μεθύλιο, στον κάδο και στο κάλυμμα, με διαφανές πολυπροπυλένιο.

Το πολυπροπυλένιο θεωρείται καλύτερο υλικό για να έρχεται σε επαφή με φαγητό, είναι πιο εύκολα ανακυκλώσιμο και πιο φθηνό. Ανήκει στην κατηγορία ανακύκλωσης «5» ενώ τα πολυμερή από το μεθακρυλικό μεθύλιο ανήκουν στην κατηγορία «7». Επίσης αντέχει πιο πολύ στις κρούσεις κάτι που μας ενδιαφέρει γιατί θα αντέχει καλύτερα σε πιθανή πτώση του προϊόντος από π.χ. το τραπέζι.

Υλικό	Μηχανικές ιδιότητες			Σχετικό κόστος
	Αντοχή σε εφελκυσμό	Αντοχή σε κρουστικά φορτία	Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες	
Acetal	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια - Χαμηλή	Μέτριο
Nylon 6/6	Μέτρια	Υψηλή	Χαμηλή	Μέτριο
Nylon 6/6, glass filled	Υψηλή	Μέτρια	Υψηλή	Μέτριο
Polypropylene (Πολυπροπυλένιο)	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλό
Thermoplastic Elastomer	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Μέτριο - Χαμηλό
Acrylic (Ακρυλικά)	Μέτρια	Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτριο

Σχήμα 8.17 Πίνακας χαρακτηριστικών των υλικών από την Protomold

Γενικά, σε αυτό το κεφάλαιο έγιναν κάποιες αλλαγές στο προϊόν βάσει των ενδείξεων της μεθόδου QFD. Σημειώνεται ότι για τη δημιουργία καινούργιων διαμορφώσεων έγινε χρήση ίδιας πολυπλοκότητας καλουπιών και διατηρήθηκε το κόστος τους στα ίδια επίπεδα. Η οποιαδήποτε οικονομική επιβάρυνση τους αντισταθμίζεται από τις επιμέρους βελτιώσεις.

9 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΟΤΥΠΩΝ (DMU) ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

9.1 Δημιουργία φωτορεαλιστικής αναπαράστασης

Χρησιμοποιώντας τα εργαλεία του CATIA έγινε φωτορεαλιστική αναπαράσταση του επανασχεδιασμένου προϊόντος (Σχήμα 9.1) με ιδιαίτερα αληθοφανές αποτέλεσμα. Ο επανασχεδιασμένος μύλος αναπαραστάθηκε σε περιβάλλον κουζίνας χρησιμοποιώντας εργαλεία φωτισμού για να αποδοθεί σωστά ο φωτισμός τυπικής κουζίνας. Επιλέχθηκε γωνία θέασης της κάμερας στο ύψος του τραπεζιού και χρησιμοποιώντας τα εργαλεία της βιβλιοθήκης υλικών προσομοιώθηκε ρεαλιστικά η υφή των υλικών του μύλου.

Στα σχήμα 9.1 είναι φωτογραφία από το ήδη υπάρχον προϊόν ενώ στο σχήμα 9.2 παρουσιάζεται η απόδοση του επανασχεδιασμένου.



Σχήμα 9.1 Φωτογραφία υπάρχοντος προϊόντος



Σχήμα 9.2 Φωτορεαλιστικής αναπαράσταση (rendering) του σχεδιασμένου μύλου

Η αναπαράσταση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς διαφήμισης, προώθησης αλλά και για έρευνα ανταπόκρισης του κοινού στον καινούργιο σχεδιασμό. Οποιαδήποτε αλλαγή κριθεί αναγκαία θα γίνει χωρίς την απόσυρση χρονοβόρας και δαπανηρής παραγωγής του προϊόντος. Επίσης, μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση μεταξύ του καινούργιου και του παλιού μύλου.

9.2 Δημιουργία animation που αναπαριστά την διαδικασία άλεσης με ανθρωπομορφικό μοντέλο (manikin)

Χρησιμοποιώντας τα εργαλεία του CATIA φτιάχτηκε βίντεο με animation που αναπαριστά το manikin κατά την διαδικασία άλεσης όπου φαίνεται η ρεαλιστική αλληλεπίδραση που έχει ο χρήστης με το προϊόν καθώς και η εργονομία του.

Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε ανθρωπομορφικό μοντέλο (manikin) που αναπαριστά Καυκάσιο άντρα σε όρθια θέση. Ο αγκώνας του αριστερού χεριού βρίσκεται σε ορθή γωνία ενώ το δεξί περιστρέφει την χειρολαβή μέσα στα όρια που φτάνει το χέρι του.

Το βίντεο έχει αναρτηθεί στον ιστότοπο: <http://youtu.be/OdEZAoDEPFA>

10 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΛΟΥΠΙΩΝ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

Ήδη από τη φάση σχεδιασμού των καλουπιών που έχει δεχθεί παραπάνω έχει ληφθεί μέριμνα τα εργαλεία παραγωγής που θα προκύψουν για τα νέα εξαρτήματα να είναι τουλάχιστον της ίδιας ή και μικρότερης συνθετότητας (βάθη κοιλοτήτων, μορφή, γεωμετρίες, πάχη, απαιτούμενες κινήσεις καλουπιών) από τα αντίστοιχα του υπάρχοντος προϊόντος. Ίδια λογική ακολουθήθηκε και στον επανακαθορισμό της τάξης ανοχών των πλαστικών εξαρτημάτων στο νέο προϊόν ούτως ώστε να μην προκύπτει ιδιαίτερη κοστολογική επιβάρυνση για τα καλούπια τους. Παρ' όλα αυτά για τα επανασχεδιασμένα πολυμερή / θερμοπλαστικά εξαρτήματα του βελτιωμένου προϊόντος ήταν απαραίτητο να γίνει και πραγματική κοστολογική αξιολόγηση των παραγωγικών τους εργαλείων (καλουπιών), για να είναι δυνατόν να επιβεβαιωθεί η εκπλήρωση του στόχου διατήρησης του βελτιωμένου προϊόντος στο ίδιο ή και χαμηλότερο κόστος σε σχέση με το υπάρχον. Για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας των σχετικών τεχνοοικονομικών δεδομένων η προκοστολόγηση έγινε ανεξάρτητα τόσο από τον έμπειρο εγχώριο κατασκευαστή καλουπιών A. Βουλγαρέλης κ Σία Ο.Ε με έδρα την Αθήνα όσο και μέσω διαδικτύου από τη γνωστή εξειδικευμένη εταιρεία του χώρου Protomold με έδρα το Ηνωμένο Βασίλειο. Τα σχετικά στοιχεία παρατίθενται συνοπτικά παρακάτω:

10.1 Κοστολόγηση καλουπιών:

Πίνακας 10.1 Κοινά τεμάχια για τον ήδη υπάρχον μύλο αλλά και για τον προτεινόμενο για σχεδίαση

Τεμάχιο	Κοστολόγηση καλουπιού (από την Protomold) (€)	Κοστολόγηση καλουπιού (από Βουλγαρέλη) (€)
«Έδρανο» άξονα (2)	1 400	1 500
Ένθετο ρότορα (6)	7 335	7 000
Ρυθμιστής άλεσης (16)	1 490	2 000
Κάλυμμα (8)	2 795	2 000
Ροδέλα (1)	1 385	1 000

Πίνακας 10.2 Τεμάχια αποκλειστικά στον υπάρχον μύλο

Τεμάχιο	Κοστολόγηση καλουπιού (από την Protomold) (€)	Κοστολόγηση καλουπιού (από Βουλγαρέλη) (€)
Βάση κάδος (14)	12 020	10 000
Κομβίο συγκράτησης (10)	1 665	2 000
Καπάκι χειρολαβής (12)	8 285	6 000
Σώμα (κέλυφος) (13)	11 185	12 000

Πίνακας 10.3 Καινούργια τεμάχια για τον βελτιωμένο μύλο

Τεμάχιο	Κοστολόγηση καλουπιού (από την Protomold) (€)
Βάση κάδος	8 900
Κομβίο συγκράτησης	2 435
Χειρολαβή	3 815
Σώμα (κέλυφος)	12 965

Αναλυτικά οι προσφορές της Protomold με τα πλήρη τεchnοοικονομικά τους στοιχεία παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

11 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΝΕΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στο κεφάλαιο της υλοποίησης του σχεδιασμού του βελτιωμένου προϊόντος έγιναν με εκτεταμένη χρήση του περιβάλλοντος και των δυνατοτήτων του λογισμικού CATIA (v5R21) οι απαραίτητες αλλαγές, με γνώμονα τους στόχους που τέθηκαν με τη συγκρότηση των νέων τεχνικών προδιαγραφών. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια απόπειρα αξιολόγησης της επιτυχίας επίτευξης αυτών των στόχων.

11.1 Αξιολόγηση αποκλίσεων ακρίβειας

- Με τις καινούργιες κατασκευαστικές ανοχές στο σώμα (κέλυφος) οι αποκλίσεις στη διάμετρο των αλεσμένων κόκκων μειώνονται από ~ 0.75 mm σε ~ 0.1 mm. Η βελτίωση αυτή, όπως φάνηκε και από την έρευνα, είναι πολύ σημαντική για τους χρήστες του προϊόντος.

⇒ Βελτίωση ~ 87%

11.2 Αξιολόγηση σε επίπεδο κόστους

11.2.1 Κοστολόγηση τεμαχίων

Πίνακας 11.1 Κοινά τεμάχια για τον ήδη υπάρχον μύλο αλλά και για τον προτεινόμενο για σχεδίαση

Τεμάχιο	Κόστος καλουπιού (€)	Κόστος ενδεικτικής παραγωγής 5 000 κομματιών (€)	Σύνολο (€)
«Έδρανο» άξονα (2)	1 400	5 900	7 300
Ένθετο ρότορα (6)	7 335	6 100	13 435
Ρυθμιστής άλεσης (16)	1 490	6 000	7 490
Κάλυμμα (8)	2 795	7 450	10 245
Ροδέλα (1)	1 385	5 850	7 235
		Ολικό Σύνολο:	45 960

Πίνακας 11.2 Τεμάχια αποκλειστικά στον υπάρχον μύλο

Τεμάχιο	Κόστος καλουπιού (€)	Κόστος ενδεικτικής παραγωγής 5 000 κομματιών (€)	Σύνολο (€)
Βάση κάδος (14)	12 020	8 600	20 620
Κομβίο συγκράτησης (10)	1 665	5 450	7 115
Καπάκι χειρολαβής (12)	8 285	5 400	13 685
Σώμα (κέλυφος) (13)	11 185	4 500	15 685
Έλασμα χειρολαβής (11)	–	5 000	5 000
Πριτσίνι (9)	–	500	500
		Ολικό Σύνολο:	62 605

Πίνακας 11.3 Νέα τεμάχια για τον βελτιωμένο μύλο

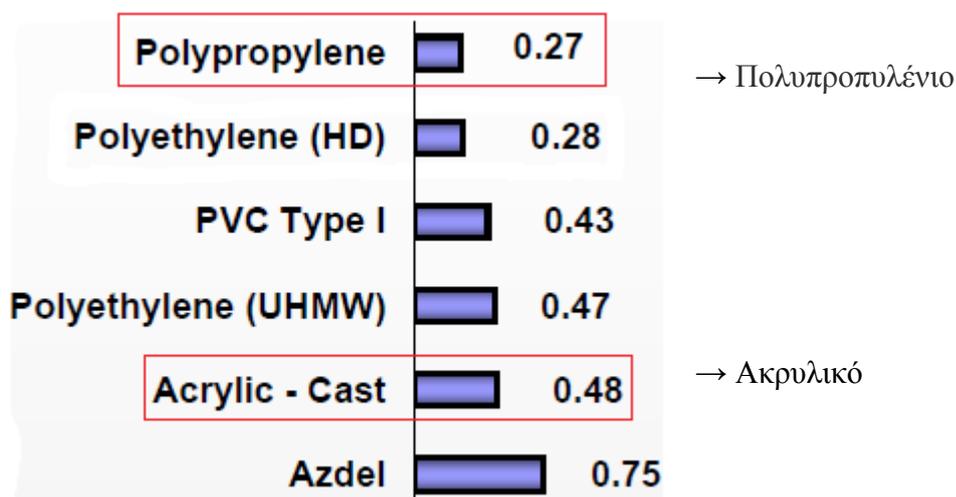
Τεμάχιο	Κόστος καλουπιού (€)	Κόστος ενδεικτικής παραγωγής 5 000 κομματιών (€)	Σύνολο (€)
Βάση κάδος	8 900	6 450	15 350
Κομβίο συγκράτησης	2 435	5 800	8 235
Χειρολαβή	3 815	5 900	9 715
Σώμα (κέλυφος)	12 965	4 500	17 465
Περικόχλιο *	–	950	950
		Ολικό Σύνολο:	51 715

* Ενδεικτική τιμή από προμηθευτή

$$\boxed{\text{Σύνολο νέων τεμαχίων}} - \boxed{\text{σύνολο τεμαχίων που αντικαταστάθηκαν}} = 62\,605 - 51\,715 = 10\,890 \text{ €} \rightarrow 10\,890 / 5\,000 \approx 2,2 \text{ € (εξοικονόμηση ανά προϊόν).}$$

Παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος των νέων εξαρτημάτων είναι μικρότερο των υφιστάμενων εξαρτημάτων και έτσι μειώνεται αισθητά το κόστος ανά προϊόν.

11.2.2 Τιμή καινούργιου υλικού



Σχήμα 11.1 Δείκτης κόστους υλικών από την εταιρεία WS Hampshire Inc. (<http://www.wshampshire.com/plastic-properties.html>)

Χρησιμοποιώντας το διάφανο πολυπροπυλένιο έναντι του ακρυλικού γίνεται μείωση της τιμής ανά μονάδα υλικού 43.75%.

Για να διακριβωθεί το πραγματικό κόστος εξοικονόμησης από την αλλαγή υλικού θα μελετήσουμε την σύνθεση του κόστους [2], τα ποσοστά δηλ. με τα οποία συμμετέχουν σε αυτό τα υλικά, τα εργατικά και τα γενικά έξοδα παραγωγής.

Το κόστος παραγωγής ισούται με το 70-75% του συνολικού βιομηχανικού κόστους και το κόστος υλικών ισούται με (περίπου) το 60% του κόστους παραγωγής

Οπότε το ποσοστό βελτίωσης στο συνολικό κόστος των τεμαχίων ισούται με $43,75\% * 60\% * 75\% \approx 20\%$ (συντελεστής μείωσης κόστους στα τεμάχια με το καινούργιο υλικό)

Πολλαπλασιάζεται ο συντελεστής με τα κόστη παραγωγής των 2 εξαρτημάτων και υπολογίζεται η πραγματική εξοικονόμηση ανά προϊόν.

$0,2 * (15\ 350 + 10\ 245) = 5\ 000\ \text{€} \rightarrow 5\ 000 / 5\ 000 = 1\ \text{€}$ (εξοικονόμηση ανά προϊόν).

Συνολικό ποσό εξοικονόμησης = 3,2 € / προϊόν

⇒ Βελτίωση ~ 9 %

11.3 Αξιολόγηση λειτουργικότητας και εργονομίας

11.3.1 Συγκράτηση μύλου

- Τα επιπρόσθετα μορφολογικά στοιχεία εξωτερικά του σώματος του μύλου παρέχουν σαφώς καλύτερη συγκράτηση, ειδικά σε συνδυασμό με την εντελώς νέα γεωμετρία της βάσης (κάδου).

11.3.2 Απαραίτητη δύναμη για την περιστροφή της χειρολαβής

- Η ροπή που απαιτείται για την περιστροφή του μύλου έχει μέγιστη τιμή 1,5Nm. Με την υπάρχουσα χειρολαβή που έχει μήκος 100mm η δύναμη που χρειάζεται να καταβάλει ο χρήστης ισούται με ~ 15N. Με την καινούργια, μακρύτερη χειρολαβή που έχει μήκος 132 mm η απαιτούμενη δύναμη μειώνεται στα ~ 11,4N. Σημαντική βελτίωση που διευκολύνει τον χρήστη σημαντικά στην διαδικασία άλεσης.

⇒ Βελτίωση ~ 24%

11.4 Αποθήκευσης και μεταφοράς

11.4.1 Κλείδωμα χειρολαβής

- Συνδέεται άμεσα με το μύλο με προφανή οφέλη τόσο στη συσκευασία του προϊόντος προς πώληση, όσο και στη διάρκεια ζωής του για την προσωρινή αποθήκευση ή και μεταφορά του. Αποκλείει δε την προσωρινή ή μόνιμη απώλεια της χειρολαβής.

11.5 Αξιολόγηση μέσων και μεθόδων παραγωγής και περιβαλλοντικής προστασίας (ανακυκλωσιμότητα)

- Τα τυποποιημένα περικόχλια που θα χρησιμοποιηθούν στον άξονα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.
- Το πολυπροπυλένιο που προτάθηκε για αντικατάσταση στην θέση του πολυμερούς από ακρυλικό προσφέρεται καλύτερα για ανακύκλωση έναντι του τελευταίου.
- Το γενικά μικρότερο σύνολο εξαρτημάτων και χρησιμοποιούμενων υλικών διευκολύνει σημαντικά όλες τις διαδικασίες ανάκτησης, αποσυναρμολόγησης και ανακύκλωσης των μερών του προϊόντος μετά το τέλος του κύκλου ζωής του.

11.6 Λοιπών στόχων του σχεδιασμού

11.6.1 Μείωση τεμαχίων

- Με την νέα προτεινόμενη σχεδίαση ο αριθμός των συνολικών τεμαχίων που απαρτίζουν το προϊόν μειώθηκε συνολικά κατά ένα ($-2 + 1$) με σαφή όμως μείωση του αριθμού των χρησιμοποιούμενων υλικών.

⇒ Βελτίωση 6,25%

11.6.2 Αύξηση χρόνου ζωής του προϊόντος

- Με το ζεύγος χειρολαβής - περικοχλίου αποτρέπεται η φθορά στον άξονα και η ανάγκη για αντικατάστασή του και παρατείνεται γενικότερα ο χρόνος ζωής του προϊόντος.
- Η νέα πιο σίγουρη συγκράτηση εξασφαλίζει μικρότερη πιθανότητα καταστροφής του προϊόντος από πτώση κατά τη χρήση του.

11.7 Αποτίμηση αξιολογήσεων

Με τον καινούργιο σχεδιασμό του προϊόντος έγινε σημαντική βελτίωση στις επιμέρους προδιαγραφές του και βελτιώθηκε συνολικά η λειτουργικότητα του, το κόστος του και έτσι έγινε πιο προσιτό στους καταναλωτές.

12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ & ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ

12.1 Συμπεράσματα

Η πιλοτική προσπάθεια βελτίωσης του μελετούμενου στη διπλωματική εργασία προϊόντος οδήγησε σε ορισμένα αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Ακολουθώντας τη σωστή μεθοδολογία του ΜΣ / ΟΜΣ έγινε αναγνώριση και καταγραφή του υπάρχοντος προϊόντος σε το επίπεδο του σχεδιασμού που είχε ακολουθηθεί από τον παραγωγό για αυτό. Μελετήθηκαν και προσδιορίστηκαν τα βασικά τεχνικά του χαρακτηριστικά και οι μέθοδοι παραγωγής των εξαρτημάτων του. Με χρήση της μεθόδου QFD / HOQ έγιναν εμφανή τα σημαντικότερα σημεία βελτίωσης του και με εκμετάλλευση προηγμένων μέσων Ολοκληρωμένου Μηχανολογικού Σχεδιασμού σε περιβάλλον Η-Υ έγινε ριζικός επανασχεδιασμός του. Αυτή η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση βελτίωσης προϊόντος, μικρής ή μεγάλης κλίμακας, έχοντας βεβαίως την απαραίτητη τεχνική γνώση και το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο. Για τον κλάδο της βιομηχανίας, του οποίου οι ανάγκες προσαρμόζονται και εξελίσσονται συνεχώς παράλληλα με την τεχνολογία, τέτοιες μελέτες είναι απαραίτητες για την οικονομική βιωσιμότητα αλλά και για παραγωγή που θα είναι φιλική προς το περιβάλλον.

12.2 Μελλοντική επέκταση & Αξιοποίηση

Ανακεφαλαιώνοντας διαπιστώνεται ότι στο επίπεδο μιας ΔΕ δεν καλύφθηκε πλήρως και σε όλο το βάθος της κάθε δυνατή πτυχή του σχεδιασμού – επανασχεδιασμού. Έγινε μια προσπάθεια βελτίωσης η οποία μπορεί να συνεχιστεί και σε άλλους τομείς. Μερικές προτάσεις για συνέχιση της μελέτης είναι:

- Η κατασκευή πρωτοτύπων των νέων εξαρτημάτων για την χειροπιαστή εξακρίβωση της λειτουργικότητας των εξαρτημάτων.
- Ολική αντικατάσταση των άλεστρον με νέα σχεδίαση και φθηνότερο υλικό από το κεραμικό.
- Χρησιμοποίηση των εργαλείων του CATIA και συμπληρωματικών συνεργαζόμενων συναφών λογισμικών (π.χ. SIMULIA) για την σχεδίαση και πλήρη προσομοίωση λειτουργίας (δομή, διαδοχή κινήσεων, πλήρωση, στερεοποίηση κλπ.) και των καλουπιών των εξαρτημάτων.

13 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Shigley, J.E., C.R. Mischke, and R.G. Budynas, *Mechanical Engineering Design*. 2004: McGraw-Hill.
2. Σφαντζικόπουλου, Μ.Μ., *Σχεδιασμός μηχανολογικών κατασκευών Ι*. 2005, Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
3. Haik, Y. and T.M.M. Shahin, *Engineering Design Process*. 2010: Cengage Learning.
4. Pahl, G., K. Wallace, and L.T.M. Blessing, *Engineering Design: A Systematic Approach*. 2007: Springer.
5. Hurst, K., *Engineering Design Principles*. 1999: Elsevier Science.
6. Ma, Y., Chen, G., Thimm, G., *Paradigm Shift: Unified and Associative Feature-based Concurrent Engineering and Collaborative Engineering*. Journal of Intelligent Manufacturing, (DOI 10.1007/s10845-008-0128-y).
7. Akao, Y., *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements Into Product Design*. 2004: Taylor & Francis.
8. Bouchereau, V. and H. Rowlands, *Methods and techniques to help quality function deployment (QFD)*. Benchmarking: An International Journal, 2000. 7(1): p. 8-20.
9. Μίνης, Ι., *ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ*. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΙΑΙΟΥ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ.
10. Stark, J., *Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation*. 2011: Springer.
11. Saaksvuori, A. and A. Immonen, *Product Lifecycle Management*. 2005: Springer.
12. ΜΗΤΣΟΥΛΗΣ, Ε., *Βασικές Αρχές Μορφοποίησης Πολυμερών*. ΤΡΙΤΗ ΕΚΔΟΣΗ ed. 2006, Αθήνα: Τομέα Μεταλλουργίας & Τεχνολογίας Υλικών, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
13. Kazmer, D., *Injection Mold Design Engineering*. 2007: Hanser.
14. Malloy, R.A., *Plastic Part Design for Injection Molding: An Introduction*. 1994: Hanser Publishers.
15. Protomold, *Designing for mouldability*, in *A quick-reference user guide for rapid injection moulding for engineers and designers*, L. Proto Labs, Editor. 2010: UK.
16. Bernard, F. *A short history of CATIA & Dassault Systemes*. 2003.
17. Cozzens, R., *Catia V5 Workbook: Releases 12 & 13*. 2004: Schroff Development Corporation.
18. Cozzens, R., *CATIA V5 Workbook Release 19*. 2009: Schroff Development Corporation.
19. Cozzens, R., *CATIA V5 Workbook Release V5-6R2013*. 2013: SDC Publications.
20. Piringner, O.G. and A.L. Baner, *Plastic Packaging: Interactions with Food and Pharmaceuticals*. 2008: Wiley.
21. Piringner, O.G. and A.L. Baner, *Plastic Packaging Materials for Food: Barrier Function, Mass Transport, Quality Assurance, and Legislation*. 2008: Wiley.
22. Rijk, R. and R. Veraart, *Global Legislation for Food Packaging Materials*. 2010: Wiley.
23. Mutsuddy, B.C. and R.G. Ford, *Ceramic Injection Molding*. 1995: Springer.
24. Zamani, N.G., *CATIA V5 FEA Tutorials: Release 21*. 2012: Schroff Development

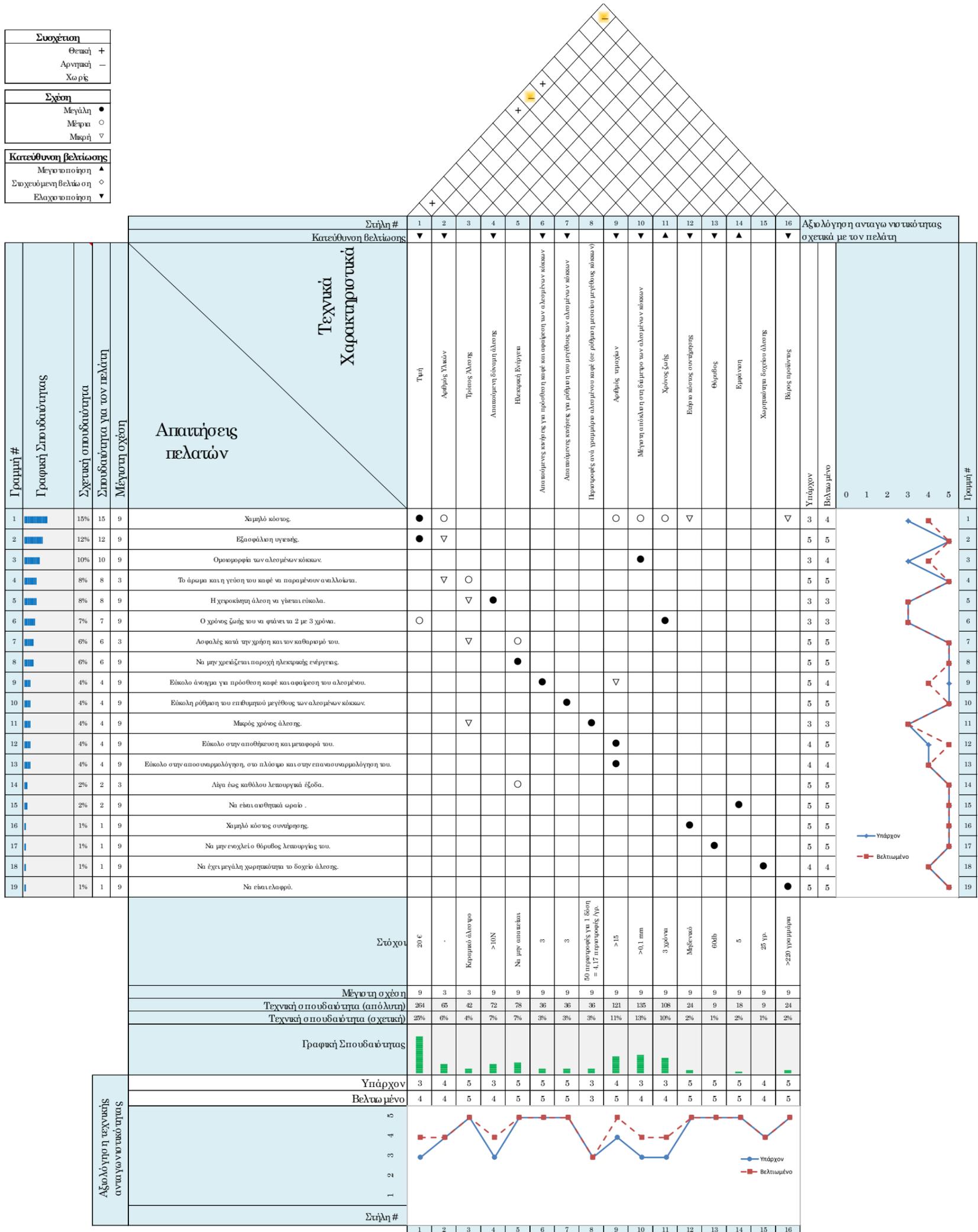
Corporation.

25. Weaver, J.M. and N. Zamani, *CATIA V5 Tutorials: Mechanism Design and Animation Release 21*. 2012: Schroff Development Corporation.
26. ISO, D., 2768: *Allgemeintoleranzen*. Teil.
27. Μαρμαράς, Ν., *Εισαγωγή στην εργονομία*. 2010: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

A.1 Εφαρμογή μεθόδου QFD

Συσχέτιση	
Θετική	+
Αρνητική	-
Χωρίς	
Σχέση	
Μεγάλη	●
Μέτρια	○
Μικρή	▽
Κατεύθυνση βελτίωσης	
Μεγιστοποίηση	▲
Στοχευόμενη βελτίωση	◇
Ελαχιστοποίηση	▼



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Παρουσιάσεις προσφορών από την Protomold

Προσφορές για τα υπάρχοντα τεμάχια:

B.1 Κοστολόγηση για το καπάκι χειρολαβής

PROTOQUOTE[®]

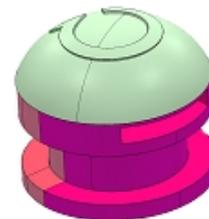
ProtoQuote prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77854** Quote Date: **22-Jul-2013**

Part Name/Number: **kapaki xerouliou**

Extents: **18.015 mm x 21.266 mm x 21.262 mm**



[View in 3D](#)

① Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="2 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="PM-T1 (Light bead blast texture)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-C1 (600 stone)"/>	
Tooling Price:		€8,240.60
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €1.81: €45.25
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="PP, Natural (PP PP7064L1)"/>	
	<input type="button" value="Change Material Colour"/>	

Total (ex. VAT) EUR: **€8,285.85**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000:	€1.81 ea	Custom Lot Size Pricing	
Qty 10,000:	€1.08 ea	Enter Lot Size: <input type="text" value="10000"/>	<input type="button" value="Go"/>
Qty 100,000:	€1.04 ea	Qty 10000:	€1.08 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

B.2 Κοστολόγηση για το ένθετο ρότορα

PROTOQUOTE®

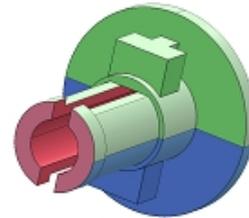
ProtoQuote prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77854** Quote Date: **22-Jul-2013**

Part Name/Number: **entheto keramikou**

Extents: **24 mm x 23.5 mm x 24 mm**



[View in 3D](#)

① Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="2 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="SPI-B1 (600 paper)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-B1 (600 paper)"/>	
Tooling Price:		€ 7.286.40
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €2.01: €50.25
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="Nylon 6, Natural (Radilon S HS 100P)"/>	
	<input type="button" value="Change Material Colour"/>	

Total (ex. VAT) EUR: **€7,336.65**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000:	€2.01 ea	Custom Lot Size Pricing	
Qty 10,000:	€1.22 ea	Enter Lot Size:	<input type="text" value="10000"/> <input type="button" value="Go"/>
Qty 100,000:	€1.17 ea	Qty 10000:	€1.22 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

B.3 Κοστολόγηση για τον ρυθμιστή άλεσης

PROTOQUOTE®

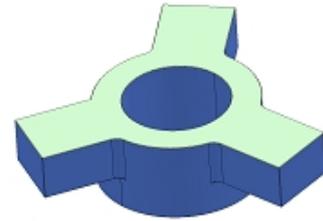
ProtoQuote prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77854** Quote Date: **22-Jul-2013**

Part Name/Number: **ruthmistis alesis**

Extents: **25.389 mm x 23.071 mm x 7 mm**



[View in 3D](#)

① Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="1 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="SPI-B1 (600 paper)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-B1 (600 paper)"/>	
Tooling Price:		€1,441.70
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €1.99: €49.75
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="Nylon 6, Natural (Radilon S HS 100P)"/>	
	<input type="button" value="Change Material Colour"/>	

Total (ex. VAT) EUR: **€1,491.45**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000:	€1.99 ea	Custom Lot Size Pricing
Qty 10,000:	€1.20 ea	Enter Lot Size: <input type="text" value="10000"/> <input type="button" value="Go"/>
Qty 100,000:	€1.14 ea	Qty 10000: €1.20 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

B.4 Κοστολόγηση για το κάλυμμα

PROTOQUOTE®

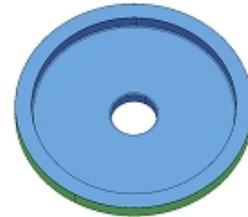
ProtoQuote automatically prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77802** Quote Date: **22-Jul-2013**

Part Name/Number: **kalumma**

Extents: **72 mm x 72 mm x 10 mm**



[View in 3D](#)

① Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="1 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="SPI-B1 (600 paper)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-B1 (600 paper)"/>	
Tooling Price:		€2,739.10
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €2.20: €55.00
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="Acrylic (PMMA), Clear (Plexiglas 6N)"/>	
	<input type="button" value="Change Material Colour"/>	

Total (ex. VAT) EUR: €2,794.10

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000:	€2.20 ea	Custom Lot Size Pricing	
Qty 10,000:	€1.49 ea	Enter Lot Size:	<input type="text" value="10000"/> <input type="button" value="Go"/>
Qty 100,000:	€1.43 ea	Qty 10000:	€1.49 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

B.5 Κοστολόγηση για το σώμα

PROTOQUOTE®

ProtoQuote prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77854** Quote Date: **22-Jul-2013**

Part Name/Number: **swma**

Extents: **71.988 mm x 71.988 mm x 80 mm**



[View in 3D](#)

① Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="2 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="PM-T2 (Medium bead blast texture)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-C1 (600 stone)"/>	
	Tooling Price:	€11,146.20
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €1.60: €40.00
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="PP, Natural (PP PP7064L1)"/>	
	<input type="button" value="Change Material Colour"/>	

Total (ex. VAT) EUR: **€11,186.20**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000:	€1.60 ea	Custom Lot Size Pricing	
Qty 10,000:	€0.90 ea	Enter Lot Size:	<input type="text" value="10000"/> <input type="button" value="Go"/>
Qty 100,000:	€0.86 ea	Qty 10000:	€0.90 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

B.6 Κοστολόγηση για το "έδρανο" άξονα

PROTOQUOTE®

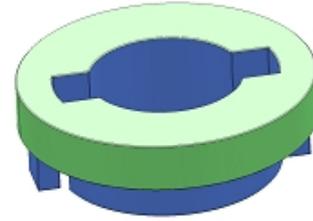
ProtoQuote prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77854** Quote Date: **22-Jul-2013**

Part Name/Number: **kalimma aksona**

Extents: **11.9 mm x 11.9 mm x 4 mm**



[View in 3D](#)

① Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="1 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="SPI-B1 (600 paper)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-B1 (600 paper)"/>	
Tooling Price:		€1,352.00
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €1.98: €49.50
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="Nylon 6, Natural (Radilon S HS 100P)"/>	
	<input type="button" value="Change Material Colour"/>	

Total (ex. VAT) EUR: **€1,401.50**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000: €1.98 ea

Qty 10,000: €1.18 ea

Qty 100,000: €1.13 ea

Custom Lot Size Pricing

Enter Lot Size:

Qty 10000: €1.18 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

B.7 Κοστολόγηση για την βάση (κάδο)

PROTOQUOTE®

ProtoQuote prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77035** Quote Date: **9-Jul-2013**

Part Name/Number: **kados**

Extents: **62 mm x 61.998 mm x 96 mm**



[View in 3D](#)

① Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="2 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="SPI-C1 (600 stone)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-C1 (600 stone)"/>	
Tooling Price:		€11,954.80
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €2.65: €66.25
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="Acrylic (PMMA), Clear (Plexiglas 6N)"/>	
	<input type="button" value="Change Material Colour"/>	

Total (ex. VAT) EUR: **€12,021.05**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000:	€2.65 ea	Custom Lot Size Pricing	
Qty 10,000:	€1.72 ea	Enter Lot Size:	<input type="text" value="10000"/> <input type="button" value="Go"/>
Qty 100,000:	€1.65 ea	Qty 10000:	€1.72 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

B.8 Κοστολόγηση για τη ροδέλα

PROTOQUOTE®

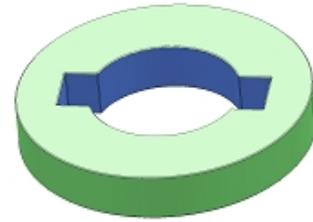
ProtoQuote prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77854** Quote Date: **22-Jul-2013**

Part Name/Number: **rodela**

Extents: **12 mm x 12 mm x 2 mm**



[View in 3D](#)

① Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="1 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="SPI-B1 (600 paper)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-B1 (600 paper)"/>	
Tooling Price:		€1,336.40
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €1.98: €49.50
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="Nylon 6, Natural (Radilon S HS 100P)"/>	
	<input type="button" value="Change Material Colour"/>	

Total (ex. VAT) EUR: **€1,385.90**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000:	€1.98 ea	Custom Lot Size Pricing	
Qty 10,000:	€1.17 ea	Enter Lot Size:	<input type="text" value="10000"/> <input type="button" value="Go"/>
Qty 100,000:	€1.12 ea	Qty 10000:	€1.17 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

B.9 Κοστολόγηση για το κομβίο συγκράτησης

PROTOQUOTE®

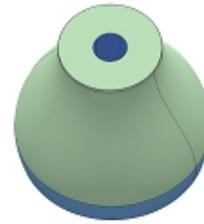
ProtoQuote prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77854** Quote Date: **22-Jul-2013**

Part Name/Number: **xeirolavi**

Extents: **22.584 mm x 22.584 mm x 19.812 mm**



[View in 3D](#)

1 Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="1 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="PM-T1 (Light bead blast texture)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-B1 (600 paper)"/>	
Tooling Price:		€1,618.50
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €1.81: €45.25
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="PP, Natural (PP PP7064L1)"/>	
<input type="button" value="Change Material Colour"/>		

Total (ex. VAT) EUR: **€1,663.75**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000:	€1.81 ea	Custom Lot Size Pricing
Qty 10,000:	€1.09 ea	Enter Lot Size: <input type="text" value="10000"/> <input type="button" value="Go"/>
Qty 100,000:	€1.05 ea	Qty 10000: €1.09 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

Προσφορές για τα καινούργια τεμάχια

B.10 Κοστολόγηση για την καινούργια χειρολαβή

PROTOQUOTE®

ProtoQuote prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77854** Quote Date: **22-Jul-2013**

Part Name/Number: **xerouli**

Extents: **158.5 mm x 23.991 mm x 22 mm**



[View in 3D](#)

① Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="1 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="SPI-C1 (600 stone)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-C1 (600 stone)"/>	
Tooling Price:		€3,768.70
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €1.85: €46.25
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="PP, Natural (PP PP7064L1)"/>	
	<input type="button" value="Change Material Colour"/>	

Total (ex. VAT) EUR: **€3,814.95**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000: €1.85 ea

Qty 10,000: €1.18 ea

Qty 100,000: €1.13 ea

Custom Lot Size Pricing

Enter Lot Size:

Qty 10000: €1.18 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

B.11 Κοστολόγηση για την καινούργια βάση (κάδο)

PROTOQUOTE®

ProtoQuote prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77035** Quote Date: **9-Jul-2013**

Part Name/Number: **kados1**

Extents: **62.726 mm x 59.815 mm x 94 mm**



[View in 3D](#)

1 Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="2 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="SPI-C1 (600 stone)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-C1 (600 stone)"/>	
Tooling Price:		€8,846.50
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €2.18: €54.50
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="Acrylic (PMMA), Clear (Plexiglas 6N)"/>	
<input type="button" value="Change Material Colour"/>		

Total (ex. VAT) EUR: **€8,901.00**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000:	€2.18 ea	Custom Lot Size Pricing
Qty 10,000:	€1.29 ea	Enter Lot Size: <input type="text" value="10000"/> <input type="button" value="Go"/>
Qty 100,000:	€1.23 ea	Qty 10000: €1.29 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

B.12 Κοστολόγηση για το καινούργιο κομβίο συγκράτησης

PROTOQUOTE®

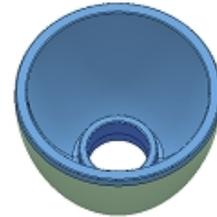
ProtoQuote automatically prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **77802** Quote Date: **22-Jul-2013**

Part Name/Number: **xeirolavi 1**

Extents: **35.108 mm x 35.108 mm x 26 mm**



[View in 3D](#)

① Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="1 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="PM-T1 (Light bead blast texture)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-A2 (High polish)"/>	
Tooling Price:		€2,893.80
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €1.82: €45.50
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="PP, Natural (PP PP7064L1)"/>	
	<input type="button" value="Change Material Colour"/>	

Total (ex. VAT) EUR: **€2,939.30**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000: €1.82 ea

Qty 10,000: €1.12 ea

Qty 100,000: €1.08 ea

Custom Lot Size Pricing

Enter Lot Size:

Qty 10000: €1.12 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.

B.13 Κοστολόγηση για το καινούργιο σώμα

PROTOQUOTE®

ProtoQuote prepared for:

N.T.U.A

Quote Number: **80339** Quote Date: **5-Sep-2013**

Part Name/Number: **swma 3 (2) rev 77854**

Extents: **72 mm x 71.998 mm x 80 mm**



[View in 3D](#)

① Confirm or Modify Specifications and Review Pricing

Cavities:	<input type="text" value="2 cavity"/>	
A-side (green) finish:	<input type="text" value="PM-T2 (Medium bead blast texture)"/>	
B-side (blue) finish:	<input type="text" value="SPI-C1 (600 stone)"/>	
Tooling Price:		€12,926.50
Sample Quantity:	<input type="text" value="25"/>	Sample Parts 25 @ €1.61: €40.25
Delivery:	<input type="text" value="Sample parts ship in 15 business days (standard delivery)"/>	
Material:	<input type="text" value="PP, Natural (PP PP7064L1)"/>	
	<input type="button" value="Change Material Colour"/>	

Total (ex. VAT) EUR: **€12,966.75**

Production Parts Calculator

This calculator shows estimated piece part pricing for future production orders.

Qty 1,000:	€1.61 ea	Custom Lot Size Pricing	
Qty 10,000:	€0.90 ea	Enter Lot Size: <input type="text" value="10000"/>	<input type="button" value="Go"/>
Qty 100,000:	€0.86 ea	Qty 10000:	€0.90 ea

Add €499.50 setup charge to each lot of production parts.