



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βελτιστοποίηση μηχανής extruder
εξώθησης Α.Β.Σ. πλαστικού



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

Μαγουλάκης Κωνσταντίνος

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ

Δρ. Πετούσης Μάρκος

Δρ. Βιδάκης Νεκτάριος



Περίληψη

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η βελτιστοποίηση της υπάρχουσας μηχανής εξώθησης (extruder) του εργαστηρίου Μηχανολογίας Ακριβείας και Αντίστροφης Μηχανικής του Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου Κρήτης. Η βελτιστοποίηση αυτή κρίθηκε απαραίτητη για την παραγωγή νήματος (filament) καλύτερης ποιότητας. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται είναι A.B.S. σε μορφή σκόνης ή pellets. Η αρχή λειτουργίας των extruders παρουσιάζεται παρακάτω όπως και τα μέρη από τα οποία αποτελείται.

Συγκεκριμένα έγινε έρευνα αγοράς extruders μέσω διαδικτύου, έρευνα νέων τεχνολογιών που εφαρμόζονται σε extruders πλαστικού και η διερεύνηση τεχνικών λύσεων για τη βελτιστοποίησή τους. Από την έρευνα επιλέχθηκαν να αντικατασταθούν συγκεκριμένα εξαρτήματα που κρίθηκαν σημαντικότερα για τη βελτίωση της λειτουργίας του εργαστηριακού extruder.

Επιπλέον γίνεται αναφορά στο σχεδιασμό της κατασκευής και των επιμέρους κομματιών από τα οποία αποτελείται, την κατασκευή και τη συναρμολόγηση τους.

Τέλος παρουσιάζεται έλεγχος και τα αποτελέσματα της πτυχιακής εργασίας, τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν αλλά και επιπλέον οι λύσεις για την περαιτέρω βελτιστοποίηση της μηχανής εξώθησης.



Abstract

The aim of this thesis is to optimize the existing molding machine of the Laboratory of Precision and Reverse Mechanics of engineering department T.E.I. Heraklion Crete. This optimization was deemed necessary to produce better quality filament. The raw material used is A.B.S. in powder or pellets. The principle of operating the extruders is shown below as well as the parts of which they are composed.

Specifically, a market research was conducted on extruders via the internet. Researching new technologies applied to plastic extruders and exploring technical solutions to optimize them. From the research, it was chosen to replace specific accessories that were considered more important for the better operation of the laboratory extruder.

In addition, reference is made to the design of the construction and the individual pieces of which they are composed, their construction and their assembly.

Finally, the results of the thesis, the problems encountered, as well as additional solutions for the further optimization of the extrusion machine are presented.



Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	1
Abstract.....	2
Πίνακας Περιεχομένων	3
Κατάλογος Εικόνων.....	6
Κατάλογος Πινάκων	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή.....	11
1.1 Τρισδιάστατη εκτύπωση.....	11
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	12
1.2.1 1981-1999:.....	12
1.2.2 1999-2010:.....	12
1.2.3 2011-2018:.....	14
1.3 Παρούσα κατάσταση.....	15
1.4 Το A.B.S.ως πρώτη ύλη.....	18
1.4.2 Ιδιότητες του A.B.S.....	19
1.4.2 Περιγραφή του προβλήματος.....	19
1.4.3 Συνεισφορά.....	23
1.5 Οργάνωση κειμένου	23
1.6 Αντικείμενο Πτυχιακής.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Σχετικές εργασίες.....	25
2.1 Extruders D.I.Y. οικιακής χρήσης	25
2.2 Μηχανές περιέλιξης νήματος.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Θεωρητικό υπόβαθρο	29
3.1 Πρότυπο κατασκευής.....	29
3.2 Αρχή λειτουργίας της κατασκευής	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Ανάλυση απαιτήσεων συστήματος.....	31
4.1 Σπηλαίωση.....	31
4.2 Διαιρούμενος κύλινδρος	31
4.3 Αρχιτεκτονική	31



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Σχεδίαση του συστήματος	32
5.1 Το χωνί πλήρωσης υλικού	34
5.2 Ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του πλαστικού	35
5.3 Ο κοχλίας μεταφοράς του υλικού.....	36
5.4 Το ακροφύσιο του extruder	37
5.5 Ράουλα	38
5.6 Οδηγός νήματος.....	39
5.6.1 Το υποστήριγμα	40
5.6.2 Ο κύλινδρος	40
5.6.3 Το στήριγμα του κυλίνδρου	40
5.6.4 Ο μισός οδοντωτός τροχός	41
5.6.5 Ο οδηγός	42
5.6.6 Ο γάντζος.....	43
5.6.7 Το στήριγμα του βάρους	43
5.6.8 Το γρανάζι λήψης κίνησης.....	43
5.7 Καρούλι τυλίξεως νήματος	44
5.7.1 Γρανάζι μοτέρ	45
5.7.2 Γρανάζι μετάδοσης κίνησης.....	45
5.7.3 Άξονας μετάδοσης κίνησης και σύνδεσης εξαρτημάτων	46
5.7.4 Αποστάτης	46
5.7.5 Στηρίγματα	47
5.7.6 Πίνακας.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Υλοποίηση	49
6.1 Ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του πλαστικού	49
6.2 Η κεφαλή του extruder (ακροφύσιο)	50
6.3 Το ορειχάλκινο δαχτυλίδι.....	52
6.4 Ο κοχλίας μεταφοράς και συμπίεσης υλικού.....	53
6.5 Αποστάτης	54
6.6 Το χωνί πλήρωσης Υλικού	54



6.7	Ράουλα	56
6.8	Οδηγός του filament.....	58
6.9	Καρούλι τυλίξεως νήματος	59
6.10	Τραβηχτικό νήματος.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Προβλήματα & τρόποι βελτιστοποίησης.....		65
7.1	Προβλήματα και δυσκολίες κατά τη διάρκεια κατασκευής.....	65
7.2	Μελλοντικές προτάσεις για τη βελτιστοποίηση της κατασκευής.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Επίλογος.....		72
8.1	Συμπεράσματα.....	72
8.2	Οδηγίες Χρήσης.....	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. Βιβλιογραφία.....		75



Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Η τρισδιάστατη εκτύπωση στη κατασκευή κτιρίων.	11
Εικόνα 2: Καρδιά εκτυπωμένη σε 3D εκτυπωτή.	13
Εικόνα 3: Η 1 ^η έκδοση του Project Riprap. 0 3D εκτυπωτής Darwin.	13
Εικόνα 4: Το πρώτο 3D εκτυπωμένο αεροσκάφος χωρίς παράθυρα βάρους 21 κιλών και μήκους 4 μέτρων.	15
Εικόνα 5: Παγκόσμια βιομηχανική πρόβλεψη 3D εκτύπωσης δισεκατομμυρίων δολαρίων για τα έτη 2014 έως 2020.	15
Εικόνα 6: Ποσοστιαίο γράφημα της χρήσης των 3D εκτυπωτών για το 2015 και 2016 αλλά και της επαγγελματικής χρήσης το 2016.	17
Εικόνα 7: Pellets A.B.S. πλαστικού σε διάφορα χρώματα.	18
Εικόνα 8: Νήμα πλαστικού A.B.S. διατομής 1.75 mm.	20
Εικόνα 9: Γράφημα παγκόσμιας παραγωγικής ικανότητας A.B.S. πλαστικού σε εκατομμύρια τόνους.	21
Εικόνα 10: Γράφημα ανάλυσης της παγκόσμιας αγοράς A.B.S. πλαστικού από το έτος 2016 έως το 2024 σε δισεκατομμύρια δολάρια.	22
Εικόνα 11: Ο 3D Printer Da Vinci Pro που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο.	24
Εικόνα 12: Η πρώτη μηχανή συρματοποίησης του Hugh Lyman.	25
Εικόνα 13: Η μηχανή συρματοποίησης του Lyman V5.	25
Εικόνα 14: Η μηχανή extruder NoztekPro.	26
Εικόνα 15: Η μηχανή extruder FILASTRUDER V2.0.	26
Εικόνα 16: Ερασιτεχνική κατασκευή μηχανής συρματοποίησης.	27
Εικόνα 17: Μηχανή περιέλιξης νήματος από την εταιρία Noztek.	27
Εικόνα 18: Το τυλιχτικό σύμπλεγμα έλξης νήματος του Hugh Lyman.	28
Εικόνα 19: Τυλιχτικό από την εταιρία 3d-tech.	28
Εικόνα 20: Ο εργαστηριακός extruder από το 2014.	29
Εικόνα 21: Μία τυπική μηχανή συρματοποίησης και τα μέρη από τα οποία αποτελείται.	30
Εικόνα 22: Πρωτότυπο ολοκληρωμένο σχέδιο του Extruder στο πρόγραμμα Creo.	32
Εικόνα 23: Το σχέδιο του κυλίνδρου σύνδεσης με το χωνί στο Creo.	34
Εικόνα 24: Άνω όψη του ολοκληρωμένου σχεδίου χωνιού, ώστε να είναι πιο ευδιάκριτη η εσωτερική πλευρά του.	35
Εικόνα 25: Η εσωτερική όψη του κυλίνδρου στο σημείο ένωσης με το χωνί, από το σημείο επίσης διέρχεται ο κοχλίας μεταφοράς του υλικού.	35
Εικόνα 26: Στην εικόνα απεικονίζεται ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του πλαστικού με το παραλληλόγραμμο τμήμα του να ξεχωρίζει.	36



Εικόνα 27: Ο κοχλίας στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Creo.....	36
Εικόνα 28: Στην εικόνα απεικονίζεται το εξάγωνο πίσω μέρος του κοχλία.	37
Εικόνα 29: Στην εικόνα απεικονίζεται το εσωτερικό του τελικού τμήματος του κυλίνδρου.....	37
Εικόνα 30: Η κεφαλή του extruder που θα συνδεθεί με τον κύλινδρο συμπίεσης και τήξης του υλικού, φαίνεται ακόμα και η οπή που θα τοποθετηθεί το ακροφύσιο.	38
Εικόνα 31: Τα ράουλα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Cero 3.0.....	38
Εικόνα 32: Απεικόνιση του συναρμολογημένου οδηγού νήματος, όπου φαίνεται η οπή από την οποία διέρχεται το νήμα.....	39
Εικόνα 33: Το υποστήριγμα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Cero. Φαίνεται η οπή στην πλάτη του κομματιού καθώς και οι οπές για τις βίδες, στις άκρες του μαυρισμένου τετραγώνου στη βάση του.	40
Εικόνα 34: Ο κύλινδρος στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Cero. φαίνεται στην εικόνα η οπή στη μέση του σχεδίου με τις δύο ημικυκλικές άκρες.....	40
Εικόνα 35: Το στήριγμα του κυλίνδρου στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Cero.	41
Εικόνα 36: Στην εικόνα απεικονίζεται ο μισός οδοντωτός τροχός.	41
Εικόνα 37: Το κυλινδράκι ένωσης των δύο μισών οδοντωτών τροχών.	42
Εικόνα 38: Ο οδηγός στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Creo.	42
Εικόνα 39: ο γάντζος στο Creo, όπου φαίνεται η εσωτερική οπή αλλά και τα “αυτάκια” του.....	43
Εικόνα 40: Το στήριγμα του βάρους με το κυλινδρικό τμήμα που εισέρχεται στον γάντζο.	43
Εικόνα 41: Το γρανάζι μετάδοσης κίνησης στο Creo.	44
Εικόνα 42: Το ολοκληρωμένο κομμάτι του οδοντωτού τροχού που δεν χρησιμοποιήθηκε.....	44
Εικόνα 43: Στην εικόνα απεικονίζεται το καρούλι τυλίξεως νήματος με το μοτέρ.	44
Εικόνα 44: Το γρανάζι μοτέρ στο Creo.	45
Εικόνα 45: Στην εικόνα παρουσιάζεται το γρανάζι χωρίς οδόντωση.	46
Εικόνα 46: Άξονας ένωσης κομματιών στο Creo.	46
Εικόνα 47: Σχεδιασμός του αποστάτη στο Creo.	47
Εικόνα 48: Στήριγμα από τη μεριά του μοτέρ.....	47
Εικόνα 49: Στήριγμα από τη μεριά σύνδεσης με τον οδηγό.	48
Εικόνα 50: Ο πίνακας διακοπών χειρισμού του τυλιχτικού συμπλέγματος δεξιά και αριστερά το καπάκι του.	48
Εικόνα 51: Κατεργασία για τη δημιουργία οπών στις πλάκες αλουμινίου, ενώ παραμένουν δεμένες στη μέγγενη.	49



Εικόνα 52: Ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του υλικού πάνω στον τόρνο μετά την κατεργασία του για τη δημιουργία του σπειρώματος,.....	50
Εικόνα 53: Όπως φαίνεται στην εικόνα η κεφαλή του extruder διαχωρίζεται από τον κύλινδρο συμπίεσης και τήξης, διαθέτει επίσης και την οπή για να βιδωθεί το μπεκ. 50	50
Εικόνα 54: Στην εικόνα παρουσιάζεται η εσωτερική κατεργασία για τη διαμόρφωση του σπειρώματος του ακροφυσίου στον τόρνο.	51
Εικόνα 55: Η κατεργασία του σπειρώματος για το μπεκ με κολαούζο σε τόρνο του εργαστηρίου.	51
Εικόνα 56: Τα διαθέσιμα ακροφύσια διαφορετικών διατομών (2mm, 1,8mm και 1,5mm) του εργαστηρίου.	52
Εικόνα 57: Το αυλάκι στο ακροφύσιο για τη χρήση κλειδιού.	52
Εικόνα 58: Αριστερά στο ορειχάλκινο δαχτυλίδι μετά στην κατεργασία του και δεξιά προσαρμοσμένο στο ακροφύσιο.	53
Εικόνα 59: Η κατεργασία του κοχλία στον τόρνο τεσσάρων αξόνων του εργαστηρίου.	53
Εικόνα 60: Η εγκοπή που εξασφαλίζει την ασφάλιση του οδοντωτού τροχού πάνω στον κοχλία.	53
Εικόνα 61: Ο κοχλίας μεταφοράς του υλικού σε όλο του το μήκος.	54
Εικόνα 62: Ο αποστάτης περασμένος στον κοχλία και η σωστή εφαρμογή του.	54
Εικόνα 63: Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η ακατέργαστη ορθογώνια σωλήνα και στη δεξιά η καθαρισμένη και κομμένη στην CNC σωλήνα για τη διαμόρφωση του ημικυκλίου.	55
Εικόνα 64: Η κατεργασία του κυλίνδρου για τη διάνοιξη οπής στην CNC μηχανή.	56
Εικόνα 65: Το χωνί πλήρωση υλικού έτοιμο προς χρήση συναρμολογημένο πάνω στον extruder.	56
Εικόνα 66: Τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελούνται τα ράουλα (αποσυναρμολογημένη κατασκευή).	57
Εικόνα 67: Η συναρμολογημένη κατασκευή των ράουλων.	57
Εικόνα 68: Πλήρως συναρμολογημένος ο οδηγός νήματος.	58
Εικόνα 69: Ο μισός οδοντωτός τροχός μπροστά και πίσω.	58
Εικόνα 70: Στο δεξιό άκρο του άξονα φαίνεται μειωμένη διατομή του, αλλά και η ανομοιομορφία του οδοντωτού τροχού.	59
Εικόνα 71: Τα στηρίγματα του κυλίνδρου και το παραλληλόγραμμο στηρίγμα του βαριδιού.	59
Εικόνα 72: Το συναρμολογημένο καρούλι τυλίξεως νήματος και τα στηρίγματα του. 60	60
Εικόνα 73: Το μοτέρ και ο μετασχηματιστής.	61



Εικόνα 74: Το εσωτερικό και το εξωτερικό του πίνακα οργάνων.....	61
Εικόνα 75: Ο ιμάντας μετάδοσης κίνησης και η βάση του μοτέρ.....	62
Εικόνα 76: Το κίτρινο λάστιχο μετάδοσης κίνησης και το μπλε λάστιχο για την αντιστάθμιση της δύναμης που ασκεί το πρώτο.	62
Εικόνα 77: Η ολοκληρωμένη κατασκευή του τυλιχτικού συμπλέγματος.	63
Εικόνα 78: Το μοτέρ με τη στήριξη του, ο ιμάντας μετάδοσης κίνησης και η ταινία του εκτυπωτή στα κυλινδράκια.	63
Εικόνα 79: Πλάγια όψη του τραβηχτικού όππου φαίνεται το ελατήριο, τα ανεμιστηράκια και τα ρουλεμάν.....	64
Εικόνα 80: Ένας από τους σπασμένους κοχλίες μεταφοράς του υλικού.	65
Εικόνα 81: Ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του υλικού με το αλλοιωμένο σπείρωμα.....	66
Εικόνα 82: Στην αριστερή εικόνα είναι εμφανής οι εκδορές στο εξωτερικό τμήμα του ακροφυσίου και στην αριστερή το αλλοιωμένο σπείρωμα.....	66
Εικόνα 83: Αριστερά το αλουμινένιο βαρίδι και δεξιά το σκουρόχρωμο χαλύβδινο βαρίδι.	67
Εικόνα 84: Το γραμμικό ποτενσιόμετρο από χερούλι τρυπανιού κατά στη δοκιμασία δοκιμής του.	67
Εικόνα 85: Ο οδοντωτός τροχός με την ανεπιθύμητη εσοχή στο τελείωμα του σπειρώματος.....	67
Εικόνα 86: Ο οδοντωτός τροχός με διορθωμένη την ανεπιθύμητη εσοχή, καλυμμένος με γράσο.	68
Εικόνα 87: Τύπωση του οδηγού του filamentστον τρισδιάστατο εκτυπωτή του εργαστηρίου.	68
Εικόνα 88: Σύγκριση του πρώτου παραγόμενου νήματος και ενός κομματιού από το τελευταίο.	69
Εικόνα 89: Ο κάθετος extruderτου Hugh Lyman με ονομασία V6.	69
Εικόνα 90: Πλανητικός μειωτήρας 313 RPM.....	70
Εικόνα 91: Το τυλιχτικό σύμπλεγμα του Hugh Lyman με ονομασία Spool Winder V3.	71
Εικόνα 92: Η ολοκληρωμένη διάταξη της νέας μηχανής εξώθησης.....	72
Εικόνα 93: Μέτρηση της διατομής του παραγόμενου νήματος.....	72
Εικόνα 94: Η λειτουργία του extruder και του τραβηχτικού κατά τη διαδικασία παραγωγής νήματος.	73
Εικόνα 95: Συναρμολογημένο και σε λειτουργία το τυλιχτικό σύμπλεγμα.....	74



Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά A.B.S. πλαστικού. 19



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

1.1 Τρισδιάστατη εκτύπωση

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής στην οποία κατασκευάζονται αντικείμενα μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Στη τρισδιάστατη εκτύπωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού, κυρίως κεραμικά και πολυμερή. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση. Για τον λόγο αυτό πιστεύεται ότι στα επόμενα χρόνια η παγκόσμια παραγωγή αγαθών θα στραφεί προς αυτή την κατεύθυνση, αντικαθιστώντας σταδιακά τις παραδοσιακές τεχνικές. Δεν είναι λίγοι αυτοί που πιστεύουν ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα αποτελέσει μία «νέα βιομηχανική επανάσταση», καθώς θα φέρει αποκέντρωση των παραγωγικών διαδικασιών, ανοίγοντας τον δρόμο για τοπική παραγωγή και μικρής κλίμακας, προσαρμοσμένη στις τρέχουσες ανάγκες.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή φυσικών μοντέλων και πρωτοτύπων (Εικόνα 1) από σχεδιαστές, μηχανικούς και ομάδες ανάπτυξης νέων προϊόντων, έχουν τη δυνατότητα να εκτυπώνουν μέρη και εξαρτήματα από διάφορα υλικά, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και συχνά σε μια ενιαία διαδικασία κατασκευής. Η νέα τεχνολογία διαχείρισης και μετακίνησης υλικών (ως έχουν ή με αναπαραγωγή τους), ονομάζεται (ψηφιακό) MatterNet, κατά αναλογία της τεχνολογίας του διαδικτύου (internet), που επιτρέπει την διαχείριση και μεταφορά των πληροφοριών (κειμένων, σταθερών ή κινούμενων εικόνων και ήχου).



Εικόνα 1: Η τρισδιάστατη εκτύπωση στη κατασκευή κτιρίων.



1.2 Ιστορική αναδρομή

1.2.1 1981-1999:

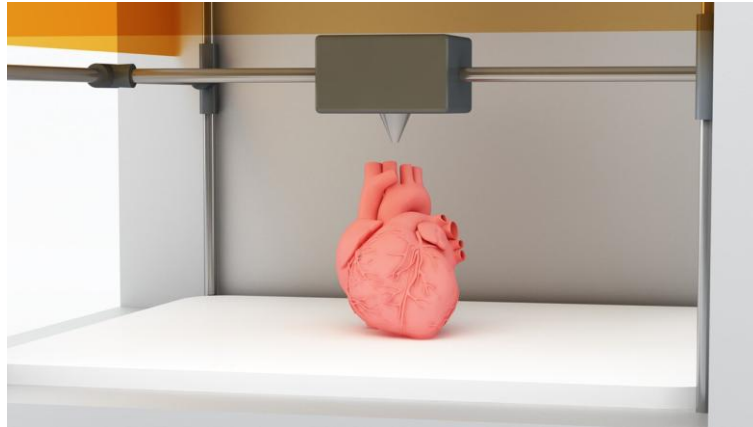
Το 1981, ο Hideo Kodama του Δημοτικού Ινστιτούτου Βιομηχανικής Έρευνας της Nagoya δημοσίευσε ένα λειτουργικό σύστημα γρήγορων πρωτοτύπων που χρησιμοποιεί φωτοπολυμερή (πολυμερές του οποίου οι ιδιότητες αλλάζουν στη έκθεση του στο φως). Ένα συμπαγές, τυπωμένο μοντέλο δημιουργήθηκε σε στρώματα, το καθένα από τα οποία αντιστοιχούσε σε μια εγκάρσια τομή στο μοντέλο. Τρία χρόνια αργότερα, το 1984, ο Charles Hull επινόησε τη στερεολιθογραφία. Η στερεολιθογραφία επιτρέπει στους σχεδιαστές να δημιουργήσουν 3D μοντέλα χρησιμοποιώντας ψηφιακά δεδομένα, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν ένα από αντικείμενο.

Το κλειδί για τη στερεολιθογραφία είναι ένα είδος ακρυλικού υλικού που είναι γνωστό ως φωτοπολυμερές. Χτυπώντας μια δεξαμενή υγρού φωτοπολυμερούς με μια ακτίνα λέιζερ υπεριώδους ακτινών, το εκτεθειμένο στο φως τμήμα θα μετατραπεί αμέσως σε στερεό κομμάτι πλαστικό, σαν χυτευμένο στο σχήμα του 3D μοντέλου. Αυτή η νέα τεχνολογία ήταν μεγάλη είδηση για τους εφευρέτες, οι οποίοι θα μπορούσαν τώρα να θεωρήσουν πρωτότυπα και να δοκιμάσουν τα σχέδιά τους χωρίς να χρειαστεί να πραγματοποιήσουν μια τεράστια αρχική επένδυση στον τομέα της μεταποίησης.

Το 1992 η 3DSystems (εταιρεία του Charles Hull) δημιούργησε την πρώτη μηχανή στερεολιθογραφικών συσκευών (S.L.A.) στον κόσμο, η οποία κατέστησε δυνατή την κατασκευή σύνθετων εξαρτημάτων, σε στρώσεις ανά στρώμα, σε ένα κλάσμα του χρόνου που θα απαιτούνταν κανονικά. Την ίδια χρονιά, η νεοσύστατη D.T.M. παρήγαγε την πρώτη μηχανή επιλεκτικής πυροσυσσωμάτωσης με λέιζερ S.L.S. (Selective laser sintering (75)) παγκοσμίως, η οποία θερμαίνει με λέιζερ επιφάνεια σκόνης (τύπου νάιλον 11, 12 και υλικό P.E.E.K.) και τη μετατροπή της σε συμπαγές αντικείμενο.

1.2.2 1999-2010:

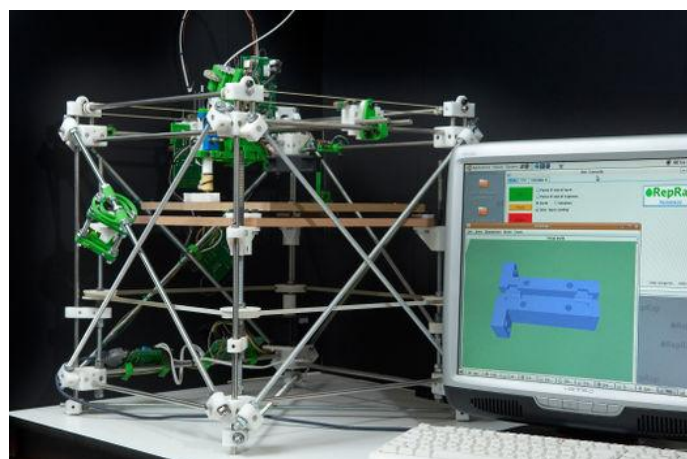
Η πρόοδος ήταν συναρπαστική, το 1999, το πρώτο 3D τυπωμένο όργανο εμφυτεύτηκε στους ανθρώπους (Εικόνα 2). Οι επιστήμονες του Ινστιτούτου Wake Forest για την αναγεννητική ιατρική εκτύπωσαν συνθετικό σκαρίφημα ανθρώπινης ουροδόχου κύστης και έπειτα επικαλύφθηκε με κύτταρα ασθενών. Ο νεοσχηματισμένος ιστός στη συνέχεια εμφυτεύτηκε στους ασθενείς, με ελάχιστη ή μηδενική πιθανότητα το ανοσοποιητικό τους σύστημα να τις απορρίψει, καθώς ήταν κατασκευασμένες από τα κύτταρα τους.



Εικόνα 2: Καρδιά εκτυπωμένη σε 3D εκτυπωτή.

Από ιατρική άποψη, αυτή ήταν μια μεγάλη δεκαετία στην ιστορία της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Σε μόλις 10 χρόνια, επιστήμονες από διαφορετικά ιδρύματα και νεοσύστατες εταιρίες δημιούργησαν ένα λειτουργικό μικροσκοπικό νεφρό, έχτισαν ένα προσθετικό σκέλος με σύνθετα μέρη που εκτυπώθηκαν μέσα στην ίδια δομή και βίο-τυπώθηκαν τα πρώτα 3D αιμοφόρα αγγεία χρησιμοποιώντας μόνο ανθρώπινα κύτταρα.

Αυτή ήταν και η δεκαετία όπου η τρισδιάστατη εκτύπωση συνάντησε την κίνηση ανοιχτού κώδικα. Το 2005, το Project RepRap (Εικόνα 3) του Dr. Adrian Bowyer προώθησε μια πρωτοβουλία ανοιχτού κώδικα για τη δημιουργία ενός 3D εκτυπωτή που θα μπορούσε να κατασκευάσει τον εαυτό του ή έστω να τυπώσει τα περισσότερα κομμάτια του. Το 2008, κυκλοφόρησε ο Ντάργουιν, ένας εκτυπωτής αυτοαναδιπλασιασμού που μπορεί να κάνει μόνο αυτό.



Εικόνα 3: Η 1^η έκδοση του Project Riprap. Ο 3D εκτυπωτής Darwin.

Αυτές οι τεχνολογίες βρίσκονταν σε πρώιμο στάδιο και δεν ήταν τέλειες, υπήρξε κάποια στρέβλωση στο υλικό καθώς σκληρύνθηκε και τα μηχανήματα ήταν



απαγορευτικά δαπανηρά για τους ερασιτέχνες εφευρέτες, αλλά το δυναμικό τους ήταν αναμφισβήτητο. Δεκαετίες αργότερα, το ιστορικό εκτύπωσης 3D έδειξε ότι το δυναμικό αυτό εξακολουθεί να εκτυλίσσεται.

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 2000, ο εκδημοκρατισμός της βιομηχανοποίησης είχε καταλάβει τη φαντασία του κοινού, όπως και την ιδέα της μαζικής προσαρμογής. Το πρώτο μηχάνημα S.L.S. έγινε εμπορικά βιώσιμο το 2006, το οποίο άνοιξε την πόρτα για την παραγωγή βιομηχανικών εξαρτημάτων. Η νεοσύστατη 3DprintingObjet (η οποία τώρα συγχωνεύθηκε με την Stratasys) δημιούργησε ένα μηχάνημα που θα μπορούσε να εκτυπώσει σε πολλαπλά υλικά, τα οποία επέτρεψαν την κατασκευή ενός κομματιού με διαφορετικές εκδοχές και με διαφορετικές ιδιότητες υλικού.

Οι εντυπωσιακές δημιουργικές καινοτομίες της δεκαετίας ολοκληρώθηκαν με τη δρομολόγηση συνεργατικών υπηρεσιών συν-δημιουργίας όπως η Shapeways, μια αγορά 3D εκτύπωσης, όπου οι σχεδιαστές μπορούν να αντλήσουν πληροφορίες από τους καταναλωτές και άλλους σχεδιαστές και στη συνέχεια να κατασκευάσουν τα προϊόντα τους με ευκολία. Η MakerBot κατέκτησε τη σκηνή, παρέχοντας “kit” ανοιχτού κώδικα D.I.Y. για κατασκευαστές, για να δημιουργήσουν τους δικούς τους 3D εκτυπωτές και προϊόντα.

1.2.3 2011-2018:

Σύντομα θα κατασκευάζονται ακόμα και Τρισδιάστατα jetpacks!

Ενώ η τιμή των τρισδιάστατων εκτυπωτών έχει πέσει γρήγορα και η ακρίβεια της τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει βελτιωθεί, οι πρωτοπόροι πιέζουν το φάκελο με τρόπους που ο Charles Hull μπορούσε μόνο να ονειρευτεί. Οι σχεδιαστές δεν περιορίζονται πλέον στην εκτύπωση με πλαστικό. Μηχανικοί στο Πανεπιστήμιο του Σαουθάμπτον έχουν απογειώσει το πρώτο παγκοσμίως εκτυπωμένο μη επανδρωμένο αεροσκάφος του κόσμου (Εικόνα 4) και η Korecologic πρωτοτύπησε με το Urbee, ένα αυτοκίνητο με 3D τυπωμένο σώμα που κατασκευάστηκε για να μπορέσει να φτάσει την αυτονομία καυσίμου στα 200 mpg (μίλια ανά γαλόνι) στον αυτοκινητόδρομο.

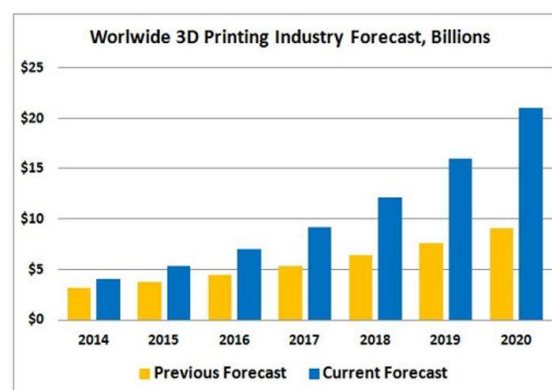


Εικόνα 4: Το πρώτο 3D εκτυπωμένο αεροσκάφος χωρίς παράθυρα βάρους 21 κιλών και μήκους 4 μέτρων.

Στο μέλλον, τα παιδιά θα έχουν τη δυνατότητα να κατασκευάσουν έργα τέχνης με τον 3D εκτυπωτή της τάξης τους και ο οδοντίατρος θα μπορεί να συντάξει μια συνταγή για ένα προσαρμοσμένο σύνολο τυπωμένων οδοντοστοιχιών (75).

1.3 Παρούσα κατάσταση

Οι παγκόσμιες αγορές 3D εκτυπωτών, υλικών, λογισμικού και συναφών υπηρεσιών ανήλθαν σε 13,2 δισεκατομμύρια δολάρια το 2016. Σύμφωνα με πρόσφατη ενημέρωση στο Worldwide Semiannual 3D Printing Spending Guide από την εταιρία International Data Corporation (I.D.C. (75)), οι παγκόσμιες δαπάνες για 3D εκτύπωση θα βιώσουν πενταετές σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (C.A.G.R.) 22,3% με έσοδα να φτάνουν τα 28,9 δισ. δολάρια το 2020 (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Παγκόσμια βιομηχανική πρόβλεψη 3D εκτύπωσης δισεκατομμυρίων δολαρίων για τα έτη 2014 έως 2020.



Οι Ηνωμένες Πολιτείες θα αποδώσουν περίπου το ένα τέταρτο των παγκόσμιων εσόδων τρισδιάστατης εκτύπωσης σε όλη την περίοδο προβλέψεων 2015 - 2020, ενώ οι επόμενες τρεις μεγαλύτερες περιοχές - Δυτική Ευρώπη, Ασία και Ιαπωνία συνδυαστικά περισσότερο από το 50%. Ενώ η ταχύτερη ανάπτυξη θα προέλθει από τις περιοχές της Μέσης Ανατολής και της Αφρικής (M.E.A.) και της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης (C.E.E.), η έντονη ανάπτυξη της δυτικής Ευρώπης θα κλείσει σημαντικά το χάσμα των εσόδων με τις Ηνωμένες Πολιτείες μέχρι το 2020. Πέντε από τις οκτώ γεωγραφικές περιφέρειες που καλύπτονται από τον οδηγό δαπανών θα παρουσιάσουν συνολική αύξηση των εσόδων τους άνω του 200% κατά την πενταετή περίοδο πρόβλεψης.

Δεδομένου ότι η αγορά 3D εκτύπωσης ωριμάζει, οι κύριες τάσεις δεν περιορίζονται πλέον στη βόρεια Αμερική. Οι περιφέρειες όπως η δυτική Ευρώπη και η Ασία κατευθύνονται σε υψηλότερα επίπεδα δαπανών σε διάφορες βιομηχανίες.

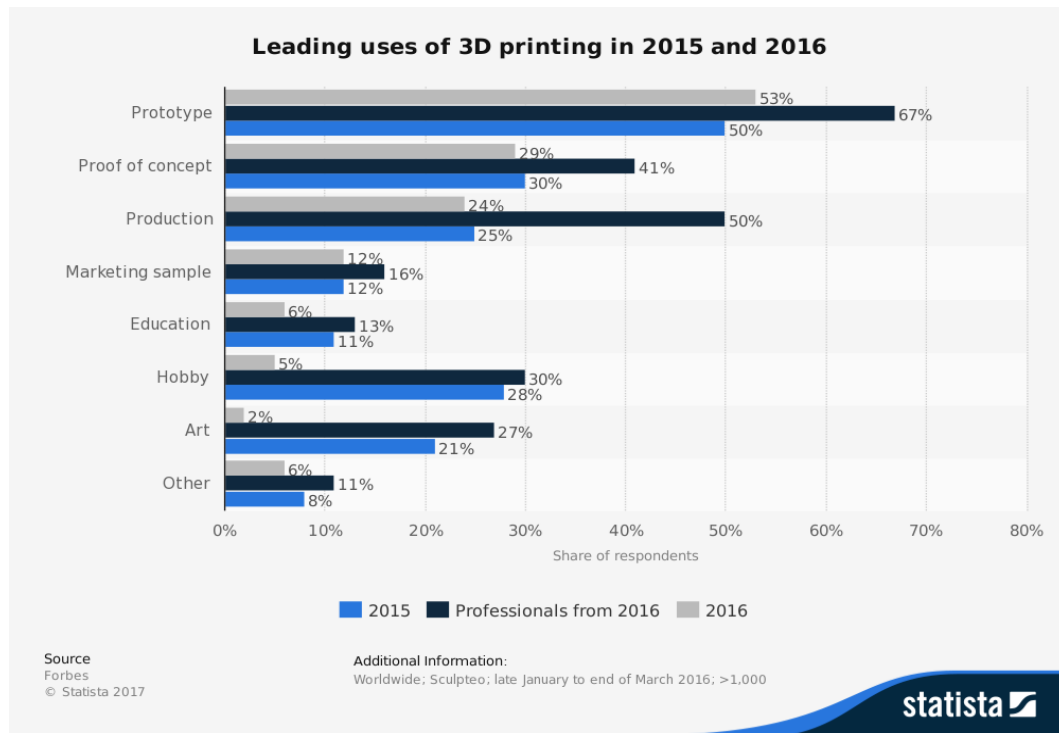
Η βιομηχανία παραγωγής διακριτών αντικειμένων κυριαρχεί στον τομέα της εκτύπωσης 3D, παρέχοντας περισσότερα από τα δύο τρίτα όλων των παγκόσμιων εσόδων μέσω μιας μεγάλης πρόβλεψης. Και ενώ όλες οι βιομηχανίες που εξετάστηκαν στον οδηγό δαπανών θα παρουσιάσουν αύξηση της τάξης του 100% κατά την περίοδο πρόβλεψης, η υγεία θα περάσει από τη θέση 5 το 2016 στη θέση 2 το 2020 με τα έσοδα να ξεπερνούν τα 3.1 δισεκατομμύρια δολάρια. Αυτή η κίνηση θα οδηγήσει σε ισχυρές επενδύσεις από παρόχους υγειονομικής περίθαλψης τόσο στις Ηνωμένες Πολιτείες όσο και στη δυτική Ευρώπη.

Χάρη στην ευρύτερη ποικιλία τρισδιάστατων εκτυπωτών και υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά και σε χαμηλότερες τιμές, η εκτύπωση 3D γίνεται πιο εξελιγμένη και αφιερωμένη στις νεότερες χρήσεις. Επιπλέον, οι υπάρχουσες περιπτώσεις χρήσης αυξάνουν το μερίδιο αγοράς τους. "Για παράδειγμα: η οδοντιατρική εκτύπωση αυξάνεται ραγδαία, με την προοπτική να φτάσει στο εγγύς μέλλον (περίπου 15% το 2020) ένα από τα υψηλότερα μερίδια αγοράς, όπως και η 3D εκτύπωση για ιατρικά εμφυτεύματα και συσκευές (σχεδόν 13% το 2020). Επιπλέον, η 3D επανάσταση ανακαλύπτει νέες αγορές και νέες χρήσεις για την εφαρμογή της στο μέλλον. Η I.D.C. προσδιορίζει τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης ως τον τομέα με το υψηλότερο αναπτυξιακό δυναμικό.

Οι περιπτώσεις χρήσης που δημιούργησαν τα μεγαλύτερα έσοδα για την εκτύπωση 3D το 2016 είναι η αυτοκινητοβιομηχανία, η ταχεία εκτύπωση πρωτοτύπων (πάνω από 3,9 δισεκατομμύρια δολάρια) και η εκτύπωση αεροσκαφών και αμυντικών εξαρτημάτων (σχεδόν 2,4 δισεκατομμύρια δολάρια). Εργαλεία και εκτύπωση εξαρτημάτων αναδείχθηκαν επίσης ως σημαντική αγορά το 2016. Μέχρι το 2020, η



οδοντιατρική εκτύπωση θα καταστεί ισχυρός αμφισβητίας για τη θέση 3 από την άποψη των παγκόσμιων εσόδων, ενώ τα ιατρικά εμφυτεύματα και η τύπωση συσκευών, για τη δημιουργία προϊόντων και τη πρωτότυπη εκτύπωση και τη προσθετική εκτύπωση θα αποδώσουν έκαστος παγκόσμιο εισόδημα άνω του 1 δισεκατομμυρίου δολαρίων (Εικόνα 6 (75)).



Εικόνα 6: Ποσοστιαίο γράφημα της χρήσης των 3D εκτυπωτών για το 2015 και 2016 αλλά και της επαγγελματικής χρήσης το 2016.

Οι αγορές συνδυασμού τρισδιάστατων εκτυπωτών και υλικών θα παράγουν σχεδόν τα δύο τρίτα των συνολικών παγκόσμιων εσόδων καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου πρόβλεψης. Τα έσοδα από το λογισμικό C.A.D. υπολογίζονται να τριπλασιάζονται κατά την πενταετή περίοδο πρόβλεψης, ενώ η αγορά για υπηρεσίες ανταλλακτικών κατά παραγγελία θα αντιστοιχεί σχεδόν σε αυτή την ανάπτυξη. Τα κέρδη τόσο σε λογισμικό όσο και σε εκτύπωση εξαρτημάτων εξαρτώνται από την ταχέως αναπτυσσόμενη χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης για πρωτότυπα σχεδιασμού και προϊόντων που απαιτούν υψηλό βαθμό προσαρμογής σε μη παραδοσιακά περιβάλλοντα.

Ο παγκόσμιος οδηγός εκμετάλλευσης τρισδιάστατων εκτυπώσεων ποσοτικοποιεί την ευκαιρία για 3D εκτυπωτές, οι οποίοι επιτρέπουν τη δημιουργία αντικειμένων και σχημάτων που κατασκευάζονται μέσα από υλικό το οποίο τοποθετείται διαδοχικά πάνω σε ένα ψηφιακό μοντέλο ή αρχείο. Τα στοιχεία εσόδων διατίθενται για



περισσότερες από 20 περιπτώσεις χρήσης σε 20 βιομηχανίες σε οκτώ περιοχές. Υπάρχουν επίσης διαθέσιμα δεδομένα για υλικό, λογισμικό και υπηρεσίες εκτύπωσης 3D. Σε αντίθεση με οποιαδήποτε άλλη έρευνα στον κλάδο, ο γενικός οδηγός δαπανών σχεδιάστηκε για να βοηθήσει τους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων στον τομέα της πληροφορικής να κατανοήσουν σαφώς τα συγκεκριμένα πεδία και την κατεύθυνση των δαπανών 3D εκτύπωσης σήμερα και τα επόμενα πέντε χρόνια.

1.4 Το A.B.S.ως πρώτη ύλη

Το A.B.S. (acrylonitrile butadiene styrene) είναι ένα αδιαφανές θερμοπλαστικό και άμορφο πολυμερές (Εικόνα 7). Θερμοπλαστικό ή θερμοσκληραινόμενο πλαστικό χαρακτηρίζει ένα πλαστικό υλικό, ένα πολυμερές που γίνεται εύκαμπτο ή χυτεύσιμο πάνω από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία και στερεοποιείται κατά την ψύξη. Τα θερμοπλαστικά καθίστανται υγρά (δηλ. Έχουν μια "υαλώδη μετάβαση") σε μια ορισμένη θερμοκρασία (221 βαθμοί Φαρενάιτ ή 100°C στην περίπτωση πλαστικού A.B.S.). Μπορούν να θερμαίνονται στο σημείο τήξης τους, να ψύχονται και να ζεσταίνονται και πάλι χωρίς σημαντική υποβάθμιση των ιδιοτήτων τους. Αντί της καύσης, θερμοπλαστικά όπως το A.B.S. υγροποιούνται, γεγονός που τους επιτρέπει να χυτεύονται εύκολα με έγχυση και στη συνέχεια να ανακυκλώνονται. Αντίθετα, θερμοσκληραινόμενα πλαστικά μπορούν να θερμανθούν μόνο μια φορά (συνήθως κατά τη διαδικασία χύτευσης με έγχυση). Η πρώτη θέρμανση προκαλεί τη ρύθμιση θερμοσκληραινόμενων υλικών, με αποτέλεσμα μια χημική αλλαγή που δεν μπορεί να αντιστραφεί. Η προσπάθεια θέρμανσης ενός θερμοσκληραινόμενου πλαστικού σε υψηλή θερμοκρασία, για δεύτερη φορά απλά θα οδηγήσει στην καύση του. Αυτό το χαρακτηριστικό κάνει τα θερμοσκληραινόμενα υλικά κακή επιλογή για ανακύκλωση. Το A.B.S. είναι επίσης ένα άμορφο υλικό που σημαίνει ότι δεν παρουσιάζει τα κλασικά χαρακτηριστικά των κρυσταλλικών στερεών.



Εικόνα 7: Pellets A.B.S. πλαστικού σε διάφορα χρώματα.



1.4.2 Ιδιότητες του A.B.S.

Το A.B.S. είναι ένα δομικά πολύ ανθεκτικό υλικό και γι 'αυτό χρησιμοποιείται σε αντικείμενα όπως κελύφη φωτογραφικών μηχανών, προστατευτικά περιβλήματα και συσκευασίες. Είναι ένα φθηνό, ισχυρό, δύσκαμπτο πλαστικό που αμετάβλητο στις εξωτερικές συνθήκες.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ
Τεχνική ονομασία	Ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρένιο (A.B.S.)
Χημική φόρμουλα	$(C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z$
Υαλώδη κατάσταση	105 ° C (221 ° F) *
Τυπική θερμοκρασία έγχυσης	204 - 238 ° C (400-460 ° F)
Θερμοκρασία εκτροπής θερμότητας (HDT)	98 ° C (208 ° F) στα 0,46 MPa (66 PSI)
Γήραση θερμού αέρα χωρίς φορτίο	60 ° C (140 ° F)
Αντοχή εφελκυσμού	46 MPa (6600 PSI)
Αντοχή κάμψης	74 MPa (10800 PSI)
Ειδική βαρύτητα	1,06
Ρυθμός συρρίκνωσης	0,5-0,7% (.005-.007 in / in)

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά A.B.S. πλαστικού.

1.4.2 Περιγραφή του προβλήματος

Το A.B.S. είναι ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα και τα πιο ευπροσάρμοστα υλικά που διατίθενται σήμερα στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Για την ακρίβεια έρχεται δεύτερο σε χρήση μετά το P.L.A. (polylactic acid).

Δεν είναι δυνατή όμως η χρήση του υπό τη μορφή pellet ή σκόνης από έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή, έτσι απαιτείται η διαδικασία συρματοποίησης του ώστε να αποκτήσει τη μορφή νήματος (Εικόνα 8).

Σήμερα ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα της εκτύπωσης 3D είναι το σχετικά υψηλό κόστος του νήματος. Οι τιμές για τους τρισδιάστατους εκτυπωτές μειώνονται συνεχώς, αλλά οι τιμές των νημάτων δεν ακολουθούσαν την ίδια πορεία. Η διαθεσιμότητα του νήματος είναι πολύ καλύτερη σχετικά με το πώς ήταν πριν από 2 ή 3 χρόνια, όπως και οι επιλογές χρωμάτων. Ακόμη και τα υλικά για εκτύπωση 3D γίνονται όλο και πιο ποικίλα και άμεσα διαθέσιμα.



Οι τιμές, ειδικά για καλής ποιότητας νήματα, δεν παρουσίασαν πτώση, παρόλο που παρατηρήθηκε αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των παραγωγών βιομηχανικών ινών, η οποία μακροπρόθεσμα θα οδηγήσει σε μαζική παραγωγή και συνολικά χαμηλότερες τιμές. Οι τιμές των νημάτων εξακολουθούν να κυμαίνονται γύρω στα 22-30 δολάρια ανά κιλό. Μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 50 \$ για 500g νήματος ειδικότητας. Αυτές οι τιμές είναι τόσο υψηλές επειδή η παραγωγή και πώληση νήματος είναι μια πολύ επικερδής επιχείρηση.

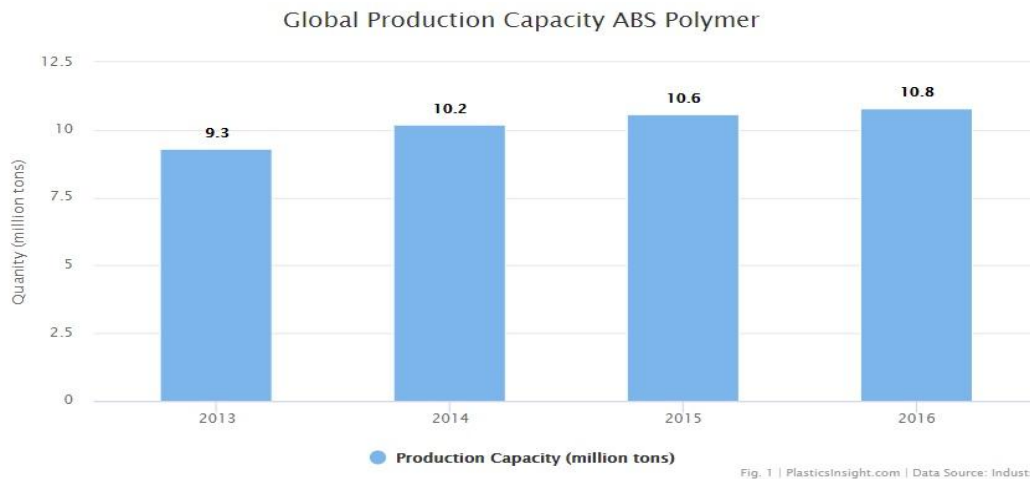


Εικόνα 8: Νήμα πλαστικού A.B.S. διατομής 1.75 mm.

Η παγκόσμια παραγωγική ικανότητα αυξάνεται τα τελευταία χρόνια. Το 2013 η παγκόσμια παραγωγή αυτών των υλικών εκτιμήθηκε σε 9,3 εκατομμύρια τόνους οι οποίοι έφθασαν σε 10,8 εκατομμύρια τόνους το 2016 (Εικόνα 9).

Η παραγωγή αυτών των υλικών ρητίνης αυξάνεται λόγω της αυξημένης κατανάλωσης, κυρίως από τις βιομηχανίες του τελικού τμήματος. Αυτά τα πολυμερή χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ποικιλίας καταναλωτικών και βιομηχανικών προϊόντων, αυτοκινήτων και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και χρησιμοποιούνται ακόμη και για συσκευασία αγαθών.

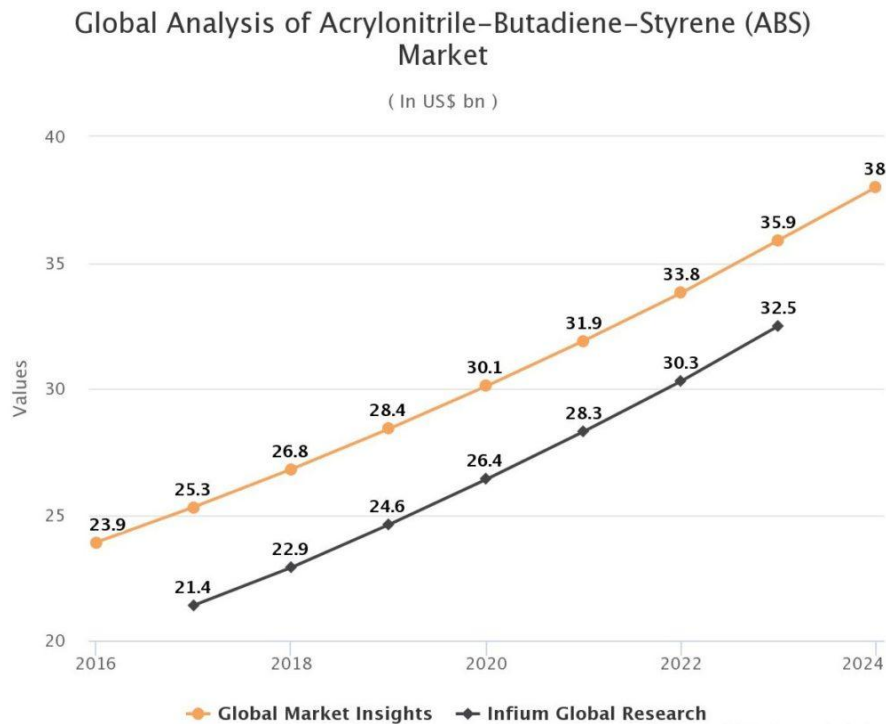
Με τις αυξανόμενες βιομηχανίες προϊόντων τελικού τμήματος και τον αμέτρητο αριθμό χρήσεων πολυμερών σε ποικίλα προϊόντα σε όλο τον κόσμο, η παραγωγή αυτών των ρητινών αυξάνεται αναλόγως.



Εικόνα 9: Γράφημα παγκόσμιας παραγωγικής ικανότητας A.B.S. πλαστικού σε εκατομμύρια τόνους.

Η αγορά του προϊόντος προβλέπεται να αυξηθεί περισσότερο από 30 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ έως το 2022. Ήταν περίπου 23 δισεκατομμύρια δολάρια το (Εικόνα 10). Οι ανώτερες ιδιότητες του πολυμερούς A.B.S., όπως η αντοχή του, ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες, έχουν θετικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη αυτής της αγοράς για τα επόμενα χρόνια.

Στην αγορά έχει διαπιστωθεί μια συνεχή αύξηση της χρήσης του A.B.S. σε διάφορες εφαρμογές για μια ποικιλία προϊόντων τελικού τμήματος όπως βοηθητικά μέσα αυτοκινήτων, δομικά υλικά, οικιακές συσκευές και ορισμένα καταναλωτικά αγαθά που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή ζωή.



Εικόνα 10: Γράφημα ανάλυσης της παγκόσμιας αγοράς A.B.S. πλαστικού από το έτος 2016 έως το 2024 σε δισεκατομμύρια δολάρια.

Οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν στη ζήτηση της αγοράς A.B.S. είναι:

- Αυξανόμενη ανάγκη για ελαφρά οχήματα ειδικά σε ανεπτυγμένες περιοχές όπως η Ευρώπη και η Βόρεια Αμερική.
- Επέκταση των αυτοκινητοβιομηχανιών σε χώρες όπως το Μεξικό, η Κίνα και η Ινδονησία.
- Αυξάνεται η κατανάλωση A.B.S. στον τομέα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών, καθώς παρέχει καλές ιδιότητες μόνωσης.
- Αύξηση του εισοδήματος των καταναλωτών και βελτίωση των οικονομικών συνθηκών.
- Η αύξηση των δραστηριοτήτων βελτίωσης των υποδομών στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που περιορίζουν την ανάπτυξη των αγορών, όπως η αυξανόμενη χρήση βιοπολυμερών λόγω των αυξανόμενων περιβαλλοντικών και υγειονομικών προβλημάτων, οι αυστηροί κυβερνητικοί κανονισμοί σχετικά με τη χρήση πλαστικών και η εύκολη διαθεσιμότητα υποκατάστατων (75).



1.4.3 Συνεισφορά

Η συνεισφορά της πτυχιακής συνοψίζεται ως εξής:

- 1 Πραγματοποιήθηκε έρευνα μέσω διαδικτύου για τη διαπίστωση του προβλήματος υψηλού κόστους όσον αφορά την προμήθεια νήματος A.B.S. πλαστικού.
- 2 Μελετήθηκαν σχετικές εργασίες από προηγούμενους φοιτητές ή αλλά εκπαιδευτικά ιδρύματα. Ακόμα έγινε έρευνα μέσω διαδικτύου για D.I.Y. extruders και σχετικές τεχνολογίες.
- 3 Κατανοήθηκε και αξιολογήθηκε ο τρόπος λειτουργίας τους.
- 4 Επιλέχθηκαν τα τμήματα που θα μελετηθούν περαιτέρω και θεωρούνται χρήσιμα για την παρούσα πτυχιακή εργασία και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του extruder.
- 5 Κατασκευάστηκαν τα παραπάνω κομμάτια και προσαρμόστηκαν στον εργαστηριακό extruder.
- 6 Παρατίθενται τυχόν προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διαδικασία κατασκευής .

1.5 Οργάνωση κειμένου

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται σχετικές εργασίες με το θέμα της πτυχιακής. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το πρότυπο κατασκευής στο οποίο βασίστηκε η παρούσα πτυχιακή εργασία και η αρχή λειτουργίας της. Στο 4^ο κεφάλαιο αυτό θα ακολουθήσει η περιγραφή της αρχιτεκτονικής του συστήματος και θα γίνει η ανάλυση απαιτήσεων για τις λειτουργίες του. Στο 5^ο κεφάλαιο αναλύεται ο σχεδιασμός του συστήματος και στο 6^ο αναπτύσσονται οι λεπτομέρειες υλοποίησης του. Στο 7^ο κεφάλαιο αναλύεται η παρουσίαση ελέγχου. Τέλος στο 8^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν αλλά και μελλοντικές επεκτάσεις που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν.

1.6 Αντικείμενο Πτυχιακής

Η πτυχιακή εργασία ως σκοπό έχει την παραγωγή νήματος A.B.S. πλαστικού μέσω του εργαστηριακού extruder χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη σκόνη ή pellets A.B.S. πλαστικού. Το παραγόμενο νήμα θα πρέπει να τηρεί της προδιαγραφές χρήσης από τον 3D printer του εργαστηρίου (Εικόνα 11).



Εικόνα 11: Ο 3D Printer Da Vinci Pro που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο.

Η ιδανική διατομή του νήματος είναι 1.75mm με μία επιτρεπτή απόκλιση της τάξεως του +/-0.05mm που το καθιστά χρησιμοποιήσιμο από τον εκτυπωτή. Η διάμετρος του νήματος επιτρέπεται να κυμαίνεται μεταξύ 1.7mm έως 1.8mm.

Ένα ακόμη πρόβλημα που θα λύσει η πτυχιακή αυτή είναι το υψηλό κόστος αγοράς έτοιμου νήματος A.B.S., λόγω της ολοένα μεγαλύτερης ζήτησης και της αύξησης των εφαρμογών του. Το κόστος αγοράς του pellet ή σκόνης A.B.S. είναι σημαντικά μικρότερο από την αγορά έτοιμου νήματος όπως αναφέρεται παραπάνω (Περιγραφή του προβλήματος).

Το τρίτο και τελευταίο πρόβλημα που θα λύσει η πτυχιακή εργασία είναι η τύλιξη του νήματος. Για το παραγόμενο νήμα από τον extruder δεν υπήρχε κάποιο εξάρτημα το οποίο θα το μαζεύει και θα το τυλίγει ομοιόμορφα χωρίς να το μπερδεύει. Η κατασκευή ενός τέτοιου μηχανισμού ήταν αναγκαία διότι το νήμα έπεφτε στο πάτωμα γεμίζοντας σκόνη, έτσι ο καθαρισμός του και το ξεμπερδεμα πριν από τη χρήση του ήταν απαραίτητα για να χρησιμοποιηθεί από τον εκτυπωτή του εργαστηρίου.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Σχετικές εργασίες

2.1 Extruders D.I.Y. οικιακής χρήσης

Οι τιμές για καλής ποιότητας νήμα δεν ακολουθούν την ίδια πτώση τιμών που υπάρχει στους extruders έτσι πολλοί εφευρέτες προχώρησαν σε κατασκευές επιτραπέζιων μηχανών εξώθησης για τη μείωση κόστους λειτουργίας ενός 3D εκτυπωτή. Ο Hugh Lyman αντιλαμβανόμενος το αυξημένο κόστος αγοράς filament κατασκεύασε μία τέτοια μηχανή (Εικόνα 12).



Εικόνα 12: Η πρώτη μηχανή συρματοποίησης του Hugh Lyman.

Ο Hugh Lyman έχει εξελίξει από τότε τη μηχανή συρματοποίησης του για να επιτύχει μείωση του απαιτούμενου χρόνου παραγωγής filament αλλά και για την επίτευξη καλύτερη ποιότητας υλικού (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: Η μηχανή συρματοποίησης του Lyman V5.

Σχεδόν 12.000 άνθρωποι σε όλο τον κόσμο κατέβασαν μέχρι στιγμής τα σχέδια για τους extruder του και ορισμένοι από αυτούς έχουν δημιουργήσει τις δικές τους



μονάδες, μερικές φορές τροποποιώντας ή βελτιώνοντας το σχεδιασμό του. Μία εταιρεία 3D εκτυπωτών, η Lulzbot, έχει προωθήσει μια προσυναρμολογημένη έκδοση της κατασκευής του Lyman.

Μία ακόμα έκδοχή βιομηχανικής μηχανής μονού κοχλίου για οικιακή χρήση είναι η NoztekPro (Εικόνα 14). Αποτελείται από ένα κύλινδρο, ένα κοχλία και ένα πλανητικό μειωτήρα. Το παραγόμενο νήμα μπορεί να είναι είτε 1,75mm ή 3mm. Η συγκεκριμένη μηχανή θα κατασκευάσει 1kg νήματος σε μόλις 2 ώρες. Η αγορά της συγκεκριμένης μηχανής είναι διαθέσιμη από το διαδίκτυο με κόστος 984.95\$



Εικόνα 14: Η μηχανή extruder NoztekPro.

Η μηχανή Filastruder κατασκευάστηκε για οικιακή χρήση και είναι μια αναβαθμισμένη έκδοση της μηχανής Filastruder από τον Tim Elmore (Εικόνα 15). Το κόστος αγοράς του νέου extruder είναι 299.99\$. Η απόκλιση της διαμέτρου του filament είναι 1.75mm +/- 0.2mm και ο απαιτούμενος χρόνος παραγωγής ενός κιλού filament είναι 5 – 8 ώρες.



Εικόνα 15: Η μηχανή extruder FILASTRUDER V2.0.

Εκτός από τις εμπορικές κατασκευές μηχανών συρματοποίησης υπάρχουν πολλές προσπάθειες κατασκευής αυτών των μηχανών από ερασιτέχνες, μία από τα οποίες απεικονίζεται παρακάτω (Εικόνα 16).



Εικόνα 16: Ερασιτεχνική κατασκευή μηχανής συρματοποίησης.

2.2 Μηχανές περιέλιξης νήματος

Πέρα από τις μηχανές παραγωγής filament έχουν κατασκευαστεί μηχανές για να το μαζεύουν. Τέτοιου είδους μηχανές παρουσιάζονται και απεικονίζονται στη συνέχεια.

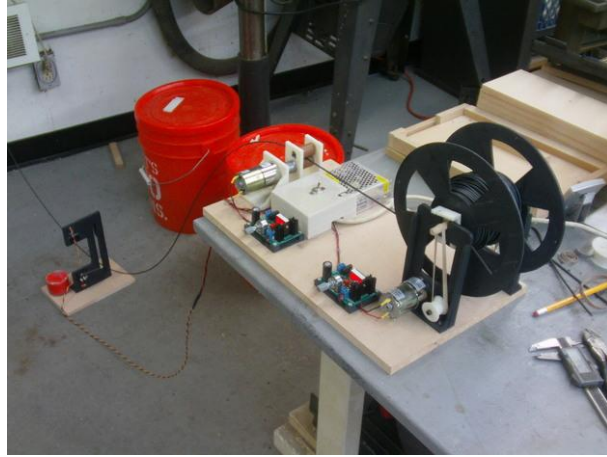
Η περιέλιξη νήματος είναι μία σύνθετη αυτοματοποιημένη διαδικασία παραγωγής στην οποία μια κινητή συσκευή περιτυλίγει νήμα γύρω από την εξωτερική επιφάνεια ενός περιστρεφόμενου άξονα.

Ένα παράδειγμα μηχανής περιέλιξης νήματος παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 17) από τη Noztek.



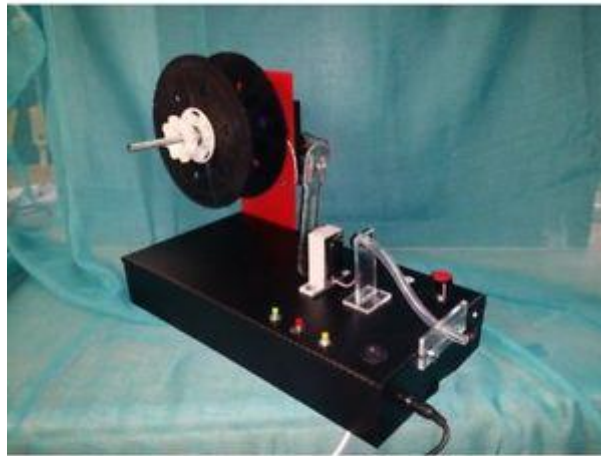
Εικόνα 17: Μηχανή περιέλιξης νήματος από την εταιρία Noztek.

Ένα ακόμα τυλιχτικό από τον Hugh Lyman με ονομασία Filament spool winder V3 (Εικόνα 18), καθώς είναι η τρίτη και βελτιωμένη έκδοση, βρέθηκε στη σελίδα thingiverse.com (75). Το σύμπλεγμα περιλαμβάνει πέρα από το καρούλι για τηντύλιξη του νήματος ένα τραβηχτικό μηχανήμα για την έλξη του νήματος και ένα πλαστικό κομμάτι τύπου Π, όπου με αισθητήρες στα άκρα του δίνει σήμα σε μία κεντρική μονάδα. Η μονάδα στη συνέχεια ρυθμίζει το τραβηχτικό για το αν θα αυξήσει ή θα ελαττώσει αντίστοιχα την ταχύτητα έλξης.



Εικόνα 18: Το τυλιχτικό σύμπλεγμα έλξης νήματος του Hugh Lyman.

Τυλίχτηκα ακόμα διατίθενται προς πώληση στο διαδίκτυο, όπως το παρακάτω ελληνικής κατασκευής προϊόν με τιμή 380\$, από την εταιρία 3d-tech (Εικόνα 19).



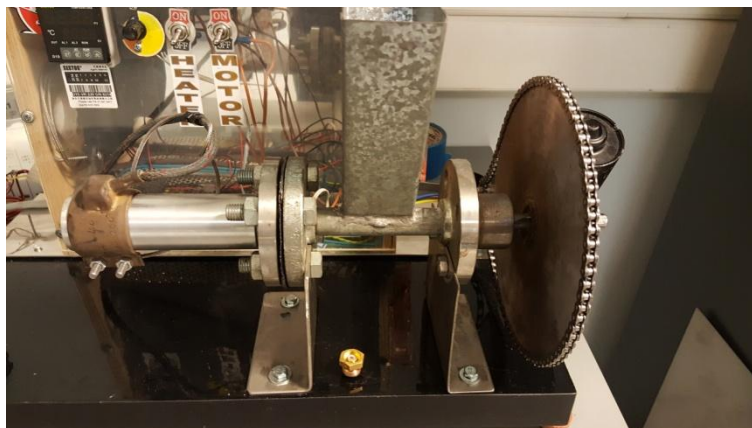
Εικόνα 19: Τυλιχτικό από την εταιρία 3d-tech.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Θεωρητικό υπόβαθρο

3.1 Πρότυπο κατασκευής

Η παρούσα κατασκευή είναι μία βελτιστοποίηση της ήδη υπάρχουσας κατασκευής extruder από τον φοιτητή Κωνσταντάτο Νικόλαο το 2014, η οποία βασίστηκε στην πρώτη μηχανή extruder του Hugh Lyman (Εικόνα 20). Στην κατασκευή αυτή έχουν γίνει αλλαγές στα κυρίως μέρη του extruder, όπως είναι ο κοχλίας, το χωνί πλήρωσης υλικού, ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του πλαστικού και η κεφαλή. Η κατασκευή παραμένει ανοικτού κώδικα όπως ήταν και πριν.

Η βελτιστοποίηση του extruder ήταν αναγκαία διότι το νήμα πλαστικού που παρήγαγε ήταν κακής ποιότητας, παρουσίαζε δηλαδή ανομοιομορφίες της διατομής κατά μήκος του. Σε κάποια σημεία του ακόμη έσπαγε και ήταν αδύνατη η χρήση του από τον 3D printer.



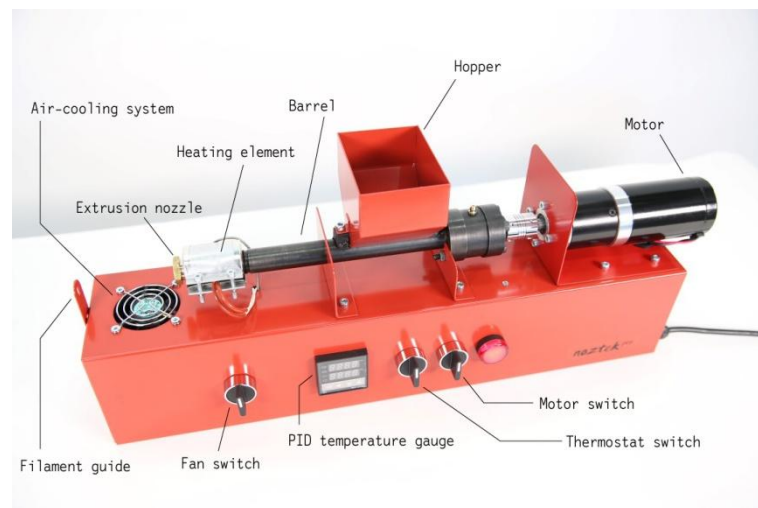
Εικόνα 20: Ο εργαστηριακός extruder από το 2014.

3.2 Αρχή λειτουργίας της κατασκευής

Οι extruders πλαστικού χρησιμοποιούν pellets ή σκόνη πλαστικού, τα οποία συνήθως ξηραίνονται, για να εξουδετερώσουν την υγρασία, σε μια χοάνη πριν πάνε σε έναν κοχλία τροφοδοσίας. Στην συνέχεια ο κοχλίας περιστρεφόμενος από ένα ζεύγος αλυσοτροχών ωθεί τα pellets μέσα από μία σωλήνα. Η πολυμερής ρητίνη θερμαίνεται σε τετηγμένη κατάσταση με συνδυασμό θέρμανσης μέσω θερμαντικών στοιχείων και διάτμηση από τον κοχλία εξώθησης. Στη συνέχεια το τηγμένο πλαστικό περνάει μέσα από ένα στόμιο τα οποίο ορίζει και την διατομή του παραγόμενου νήματος πλαστικού. Η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή μέσω ενός ψηφιακού ελεγκτή θερμοκρασίας. Το προϊόν εξώθησης ψύχεται και στερεοποιείται καθώς αμέσως μόλις βγει από το στόμιο έρχεται σε επαφή με ένα ρεύμα αέρος που παράγεται από έναν ανεμιστήρα. Μια "αποστράγγιση κάμπιας" (που ονομάζεται



"puller" στις ΗΠΑ) χρησιμοποιείται για να παρέχει τάση στη γραμμή εξώθησης η οποία είναι απαραίτητη για την συνολική ποιότητα του προϊόντος εξώθησης. Η απομάκρυνση από την κάμπια πρέπει να παρέχει συνεπή έλξη. διαφορετικά, θα προκύψει μεταβολή της διατομής κατά μήκος του νήματος ή παραμορφωμένο προϊόν. Σε μερικές περιπτώσεις (όπως σωλήνες ενισχυμένες με ίνες), το προϊόν εξώθησης τραβιέται μέσω μιας πολύ μακράς μήτρας, σε μια διαδικασία που ονομάζεται "pultrusion". Η διαμόρφωση των εσωτερικών κοχλιών είναι η κινητήρια δύναμη που εξαρτάται από την εφαρμογή. Τα στοιχεία ανάμιξης ή τα μεταφορικά στοιχεία χρησιμοποιούνται σε διάφορους σχηματισμούς. Στη διαδικασία αυτή είναι συνηθισμένη η εφαρμογή της προσθήκης χρωστικής ουσίας σε τετηγμένο πλαστικό, δημιουργώντας έτσι χρώμα ανάλογα με την χρήση (75).



Εικόνα 21: Μία τυπική μηχανή συρματοποίησης και τα μέρη από τα οποία αποτελείται.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Ανάλυση απαιτήσεων συστήματος

Στο κεφάλαιο αυτό θα ακολουθήσει η περιγραφή της αρχιτεκτονικής του συστήματος και θα γίνει η ανάλυση απαιτήσεων για τις λειτουργίες του.

4.1 Σπηλαίωση

Όπως αναφέρεται από τη σελίδα Wikipedia η σπηλαίωση συμβαίνει στα υγρά όταν η πίεση μέσα στον κύλινδρο του κινητήρα η σε έναν αγωγό είναι μικρότερη από την ταξινομημένη πίεση βρασμού. Αν η σπηλαίωση συμβαίνει πάνω σε στερεή επιφάνεια για μεγάλο χρονικό διάστημα, μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή των τοιχωμάτων του υλικού.

Στην περίπτωση της παρούσας πτυχιακής με τον όρο σπηλαίωση εννοείται η φραγή του χωνιού. Για παράδειγμα το χωνί φαίνεται να είναι γεμάτο υλικό αλλά σε κάποιο σημείο του δημιουργείται κενό και διακόπτεται η ροή του υλικού προς τον κοχλία μεταφοράς.

Το φαινόμενο αυτό δημιουργεί αστάθειες στη διατομή του παραγόμενου νήματος, ακόμα και την κοπή του.

4.2 Διαιρούμενος κύλινδρος

Μία ακόμη απαραίτητη ενέργεια ήταν ο σχεδιασμός ενός διαιρούμενου κυλίνδρου συμπίεσης και τήξης υλικού, για τον ευκολότερο καθαρισμό του.

Ο καθαρισμός θεωρείται αναγκαίος πριν από κάθε χρήση του extruder για την επίτευξη καλύτερης ποιότητας νήματος καθώς με τη συνεχή θέρμανση και την τήξη του A.B.S. αλλάζουν και οι ιδιότητες του.

Σε περίπτωση όμως και αλλαγής χρώματος pellets ο κύλινδρος πρέπει να καθαρίζεται για να μην επηρεάζεται ο χρωματισμός της επόμενης παραγωγής νήματος.

4.3 Αρχιτεκτονική

Το σύστημα αποτελείται από τρία ακόμη συμπλέγματα εκτός του extruder.

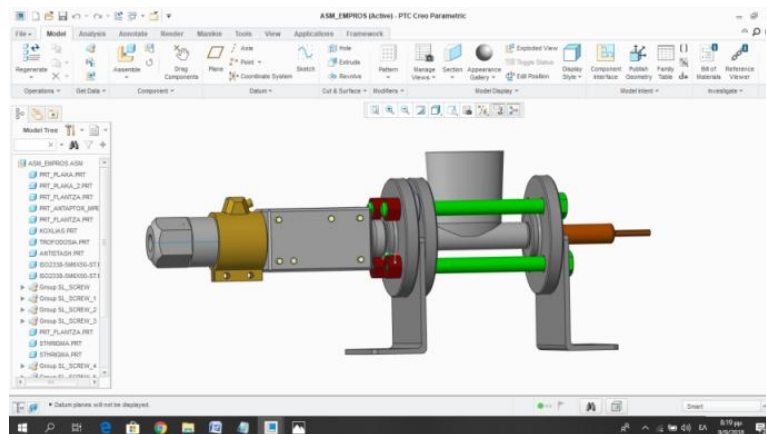
Το νήμα μετά την έξοδο του από τον extruder και όσο είναι ακόμα ζεστό περνάει μέσα από τα ράουλα (πρώτο σύμπλεγμα) όπου θα διορθώσουν τυχόν ατέλειες στη διάμετρο του. Το νήμα περνάει μέσα από τα ράουλα με την έλξη που του ασκεί το δεύτερο σύμπλεγμα στη σειρά, το τραβηχτικό. Τέλος μετά το πέρασα του από το τραβηχτικό το νήμα φτάνει στο τελευταίο στη σειρά σύμπλεγμα, το τυλιχτικό όπου και τυλίγεται για να αποθηκευτεί ή να χρησιμοποιηθεί από τον τρισδιάστατο εκτυπωτή του εργαστηρίου.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Σχεδίαση του συστήματος

Για το σχεδιασμό του συστήματος ήταν απαραίτητη η χρήση σχεδιαστικού προγράμματος. Για τη συγκεκριμένη πτυχιακή χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα Creo parametric 3.0 (Εικόνα 22) (75).

Το Creo είναι μία ακολουθία εφαρμογών σχεδιασμού με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAD) που υποστηρίζουν το σχεδιασμό προϊόντων για διακεκριμένους κατασκευαστές και αναπτύσσεται από την PTC. Η ακολουθία αποτελείται από εφαρμογές, καθεμία από τις οποίες παρέχει ένα ξεχωριστό σύνολο δυνατοτήτων στην ανάπτυξη προϊόντων. Το Creo τρέχει σε Microsoft Windows και παρέχει εφαρμογές για παραμετρικό μοντέλο 3D CAD, 3D μοντέλα, 2D ορθογραφικές προβολές, ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων και προσομοίωση, σχηματικό σχεδιασμό, τεχνικές απεικόνιση και προβολή και απεικόνιση (Εικόνα 22).



Εικόνα 22: Πρωτότυπο ολοκληρωμένο σχέδιο του Extruder στο πρόγραμμα Creo.

Παρακάτω γίνεται ανάλυση των εξαρτημάτων του extruder που επιλέχθηκαν να αντικατασταθούν με σκοπό την επίλυση των προβλημάτων που διαπιστώθηκαν στην προηγούμενη διάταξη, όπως η μη σταθερή ροή του υλικού από το χωνί προς τον κοχλία αλλά και ο δύσκολος καθαρισμός του κυλίνδρου.

Τα εξαρτήματα του extruder που επιλέχθηκαν να αντικατασταθούν είναι:

- Το χωνί πλήρωσης υλικού.

Το σχέδιο του χωνιού που επιλέχθηκε παρατηρήθηκε στο youtube από τον Hugh Lyman με τον Filament extruder V3 (19). Τα τοιχώματα που παλιού χωνιού δεν ήταν κάθετα (75). Σε κεκλιμένο επίπεδο αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής που δρουν αντίθετα στην κίνηση του αντικειμένου. Έτσι η ροή της πρώτης ύλης δεν γίνεται



ανεμπόδιστα προς τον κοχλία, εν αντιθέσει με την κάθετη επιφάνεια του νέου χωνιού όπου το υλικό εκτελεί ελεύθερη πτώση.

Ακόμη στο παλιό χωνί παρατηρείται η μείωση της διατομής του όσο πλησιάζει προς τον κοχλία. Με την υπόθεση ότι το υλικό συμπεριφέρεται σαν ρευστό που κινείται σε σωλήνα και τον νόμο του Bernoulli. Όσο μειώνεται η διατομή της σωλήνας ενώ η ταχύτητα ροής παραμένει η ίδια παρουσιάζεται αύξηση της πίεσης. Στην περίπτωση όμως αυτή υπάρχει αύξηση των δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων. Έτσι με την κατασκευή χωνιού με κάθετα τοιχώματα εξαλείφονται αυτές οι δυνάμεις όπου σε συνδυασμό είχαν σαν αποτέλεσμα την φραγή του χωνιού, για την επίτευξη σταθερής ροής.

- Ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του πλαστικού.

Ο κύλινδρος σχεδιάστηκε σε δυο διαφορετικά κομμάτια τα οποία ενώνονται έτσι ώστε να είναι διαιρούμενος. Ο λόγος που έπρεπε να είναι διαιρούμενος ο κύλινδρος είναι διότι θα πρέπει να καθαρίζεται μετά από κάθε χρήση ή στη περίπτωση που χρειαστεί να παραχθεί filament από διαφορετικά υλικά όπως είναι το A.B.S. ή το P.L.A. καθώς ο printer έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται και τα δύο υλικά. Με την αναθέρμανση επίσης των παραπάνω υλικών αλλάζουν κι οι ιδιότητες τους. Θα πρέπει ακόμα να καθαριστεί στην περίπτωση που θα χρειαστεί να παραχθεί ίδιο υλικό αλλά διαφορετικού χρώματος για την ελαχιστοποίηση των απωλειών πρώτης ύλης. Για την ένωση των κομματιών του κυλίνδρου ήταν γνωστό πως θα χρησιμοποιηθούν βίδες. Σε περίπτωση όμως που θα διαμορφώνονταν υποδοχές για τις βίδες στον κορμό του κυλίνδρου θα μειωνόταν επικίνδυνα η διατομή του στο συγκεκριμένο σημείο και αναπόφευκτα και η αντοχή του. Έτσι το μεσαίο τμήμα του κυλίνδρου παρέμεινε παραλληλόγραμμο, επιτυγχάνοντας έτσι και μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα στο κομμάτι.

- Ο κοχλίας μεταφοράς του υλικού .

Ο κοχλίας σχεδιάστηκε με σπείρωμα δυο αρχών. Τα σπειρώματα περισσοτέρων αρχών χρησιμοποιούνται για την ταχύτερη κίνηση του περικοχλίου. Με τη διαμόρφωση αυτή επιτυγχάνεται ποιο σταθερή ροή πρώτης ύλης, η ταχύτερη τήξη και ομογενοποίηση της. Παράγοντας μεγάλης σημασίας για την παραγωγή καλής ποιότητας filament (75).

- Το ακροφύσιο του extruder.



Η κατασκευή του εξαρτήματος αυτού κρίθηκε απαραίτητη διότι ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του πλαστικού είναι διαιρούμενος. Όπως φαίνεται και στο κεφάλαιο (Διαιρούμενος κύλινδρος). Το ακροφύσιο είναι ένα ακόμη μέσο σύνδεσης των δυο πλακών του κυλίνδρου, πάω στο οποίο θα βιδωθεί το μπεκ.

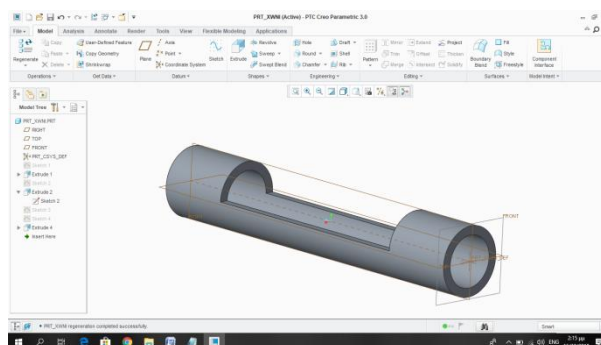
Ακόμα αναλύονται τα σχέδια που αφορούν το τυλιχτικό σύμπλεγμα. Εκείνα που λήφθηκαν από το διαδίκτυο αλλά και αυτά που σχεδιάστηκαν προκειμένου διεξαχθεί ομαλότερα η λειτουργία του. Το τυλιχτικό χωρίζεται σε δυο υποκεφάλαια λόγω των πολλών εξαρτημάτων που αποτελούνται και αναφέρονται στα Οδηγός νήματος και Καρούλι τυλίξεως νήματος

Το τυλιχτικό στηρίζεται στην κατασκευή level wind mechanism του Hugh Lyman που βρέθηκε στην σελίδα youtube και τα σχέδια λήφθηκαν από τη σελίδα thingiverse.com.

5.1 Το χωνί πλήρωσης υλικού

Το χωνί πλήρωσης του υλικού επανασχεδιάστηκε για την αποφυγή της σπηλαιώσης που παρουσιαζόταν στο προηγούμενο. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός πρέπει η επιφάνεια του χωνιού να είναι τελείως κάθετη και λεία.

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα ο κύλινδρος είναι κομμένος μέχρι τη μέση του και από εκείνο το σημείο αρχίζει το χωνί (Εικόνα 23). Ο σχεδιασμός αυτός έγινε με γνώμονα πως πρέπει να υπάρχει όσο το δυνατό μεγαλύτερο άνοιγμα στο σημείο ένωσης των δύο εξαρτημάτων για να υπάρχει μεγαλύτερη ελευθερία κίνησης της πρώτης ύλης προς την κοχλία μεταφοράς. Αυτός είναι ακόμα ένας τρόπος για την αποφυγή της σπηλαιώσης.

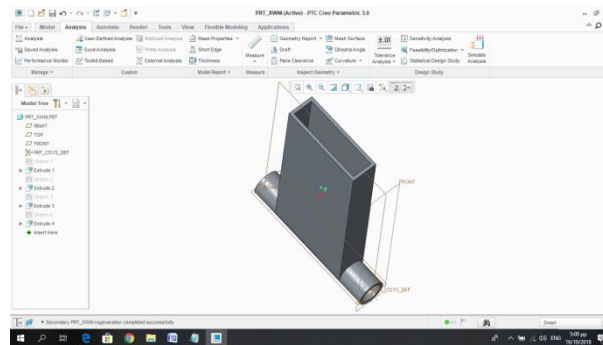


Εικόνα 23: Το σχέδιο του κυλίνδρου σύνδεσης με το χωνί στο Creo.

Ο κύλινδρος έχει εξωτερική διάμετρο 21,5mm, εσωτερική διάμετρο 16mm και μήκος 115mm.

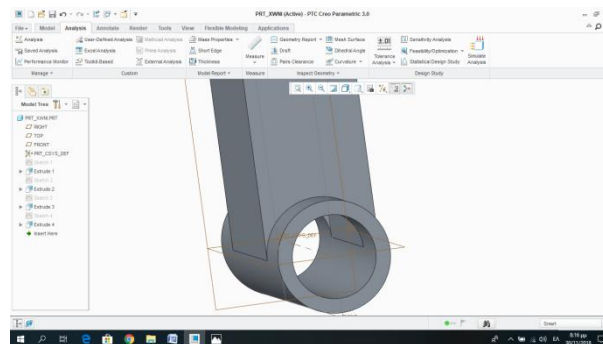


Το χωνί είναι παραλληλόγραμμο σχήματος με ύψος 17cm από την επιφάνεια του κυλίνδρου. Με εσωτερικές διαστάσεις 65 x 16 mm και πάχος τοιχώματος 2,75mm Έτσι οι εξωτερικές διαστάσεις είναι 70 x 21,5mm. Το παραλληλόγραμμο χωνί είναι τοποθετημένο στο μέσο του κυλίνδρου (Εικόνα 24).



Εικόνα 24: Άνω όψη του ολοκληρωμένου σχεδίου χωνιού, ώστε να είναι πιο ευδιάκριτη η εσωτερική πλευρά του.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 25) φαίνεται η εσωτερική πλευρά της ένωσης του χωνιού με τον κυλίνδρου, η οποία είναι ουσιαστικής σημασίας για την αποφυγή της σπηλαιώσης. Στην εικόνα απεικονίζεται η απουσία σκαλοπατιού στο σημείο ένωσης, για την εξασφάλιση της ομαλής ροής υλικού προς τον κοχλία.



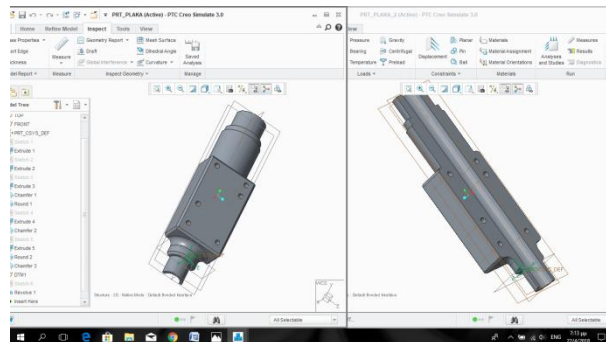
Εικόνα 25: Η εσωτερική όψη του κυλίνδρου στο σημείο ένωσης με το χωνί, από το σημείο επίσης διέρχεται ο κοχλίας μεταφοράς του υλικού.

5.2 Ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του πλαστικού

Η εσωτερική διάμετρος του κυλίνδρου αυτού θα είναι σε όλο το μήκος του 16mm καθώς η εξωτερική διάμετρος του σπειρώματος του κοχλίας μεταφοράς υλικού είναι σε όλο το μήκος του 16mm. Το μπροστινό μέρος του κυλίνδρου όπου στη παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ως το μακρύτερο τμήμα έχει διάμετρο 40mm και μήκος 39mm, έχουν διαμορφωθεί όμως δύο ακόμη σκαλοπάτια διαμέτρου 37mm και μήκους 6mm το πρώτο και 30mm το δεύτερο με μήκος 19,5mm. Πάνω στο δεύτερο



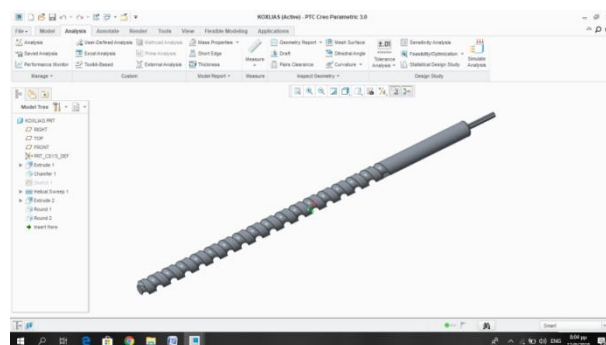
σκαλοπάτι διαμέτρου 30mm θα διαμορφωθεί σπείρωμα για να βιδώνει το ακροφύσιο του extruder. Τέλος το συνολικό μήκος του είναι 183,5mm.



Εικόνα 26: Στην εικόνα απεικονίζεται ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του πλαστικού με το παραλληλόγραμμο τμήμα του να ξεχωρίζει.

5.3 Ο κοχλίας μεταφοράς του υλικού

Ο κοχλίας μεταφοράς υλικού έχει μήκος 400mm και 16mm διάμετρο. Το σπείρωμα είναι μήκους 280mm, βήματος 30mm και βάθος δοντιού 4,5mm. Το συνολικό μήκος της οπής του κυλίνδρου πλήρωσης υλικού και του κυλίνδρου συμπίεσης και τήξης του πλαστικού είναι 256mm, το σπείρωμα του κοχλία σχεδιάστηκε τόσο μεγάλο έτσι ώστε μόλις να φτάνει να καλύπτει την οπή πλήρωσης του υλικού. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι διότι ανάμεσα στα δυο κομμάτια παρεμβάλλονται αλλά εξαρτήματα όπως δυο φλάντζες και η βάση στήριξης του extruder όπως φαίνεται στην Εικόνα 22.

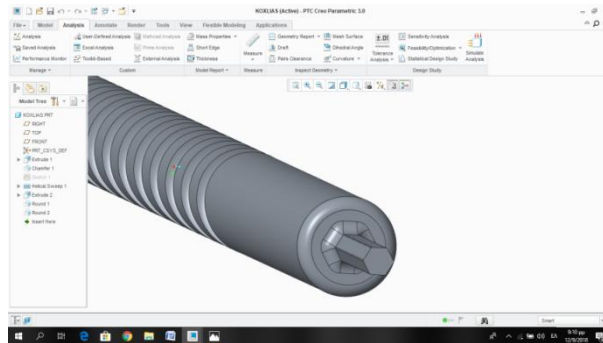


Εικόνα 27: Ο κοχλίας στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Creo.

Η αρχή λειτουργίας του κοχλία είναι η μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε ευθύγραμμη, και στηρίζεται στην ύπαρξη του σπειρώματος. Το σπείρωμα λειτουργεί σαν κεκλιμένο επίπεδο γύρω από τον κορμό του κοχλία. Μπορεί να έχει μια, δυο ή τρεις αρχές.

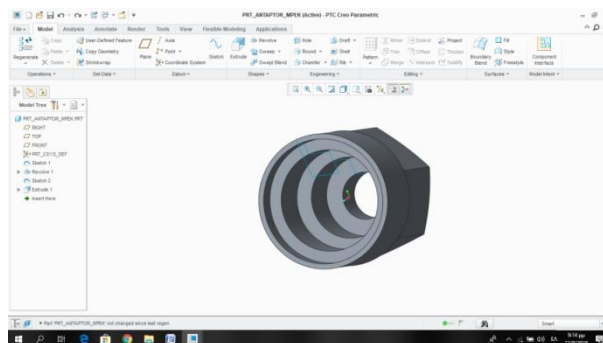


Όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 28 στο πίσω μέρος του κοχλία διαμορφώθηκε εξάγωνο ώστε να ταιριάζει ακριβώς με την οπή στο γρανάτζι που παίρνει κίνηση από το μοτέρ.



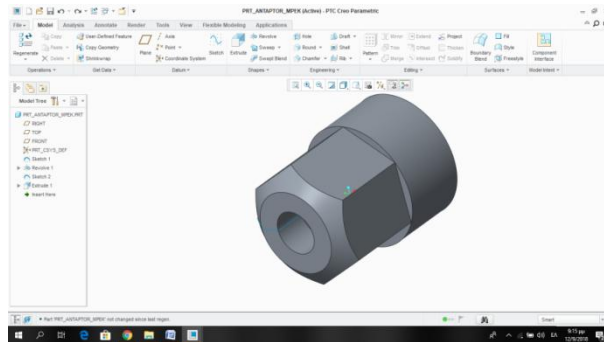
Εικόνα 28: Στην εικόνα απεικονίζεται το εξάγωνο πίσω μέρος του κοχλία.

Το ακροφύσιο του extruder Ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του πλαστικού, οι κοχλίες σύνδεσης του δύο πλακών είναι ποιο πίσω από τη μέση του κυλίνδρου και αυτό διότι το κομμάτι αυτό θεωρείται ένα ακόμη μέσω σύνδεσης τους. Ακόμη η δημιουργία σπειρώματος για να βιδωθεί το ακροφύσιο είναι ευκολότερη σε ένα συμπαγές κομμάτι υλικού.



Εικόνα 29: Στην εικόνα απεικονίζεται το εσωτερικό του τελικού τμήματος του κυλίνδρου.

Στο εσωτερικό του ακροφυσίου έχουν δημιουργηθεί διαβαθμίσεις διατομής με το πρώτο σκαλοπάτι να είναι διατομής $\Phi 37 \times 6\text{mm}$, ώστε να εφάπτεται πάνω στον κύλινδρο. Στη συνέχεια υπάρχει σπείρωμα ώστε να βιδώνει πάνω στο κύλινδρο συμπίεσης $M30 \times 1\text{mm}$ και μήκους 15mm . Ένα ξεθύμασμα $\Phi 34 \times 4,5\text{mm}$ λόγω του σπειρώματος. Δύο ακόμη διαφορετικές διατομές ακολουθούν με την πρώτη να είναι $\Phi 24 \times 14,5\text{mm}$ και τέλος μία μικρή οπή με σπείρωμα $\Phi 14 \times 11\text{mm}$ όπου θα βιδώνει το ακροφύσιο του Extruder.

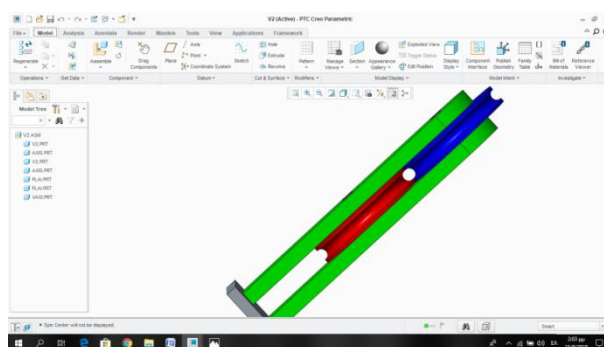


Εικόνα 30: Η κεφαλή του extruder που θα συνδεθεί με τον κύλινδρο συμπίεσης και τήξης του υλικού, φαίνεται ακόμα και η οπή που θα τοποθετηθεί το ακροφύσιο.

Η εξωτερική διάμετρος είναι $\Phi 40 \times 51\text{mm}$. Το κυλινδρικό τμήμα είναι διαστάσεων $\Phi 40 \times 21\text{mm}$. Το εξαγωνίο σχεδιάστηκε για να μπορεί να πιάνεται με κλειδί και να βιδώνεται πάνω στο κύλινδρο. Το μήκος του είναι $24,5\text{mm}$ ενώ το εξαγωνίο σχεδιάστηκε αυτόματα από το Creo αφού επιλέξαμε το κυλινδρικό τμήμα πάνω στο οποίο σχεδιάστηκε και τις ακμές έως ότου να εφάπτονται οι γωνίες του. Τέλος σχεδιάστηκε μία καμπυλότητα για να σπάσουν οι ακμές μήκους $5,5\text{mm}$ κατά μήκος της αξονικής γραμμής.

5.5 Ράουλα

Τα ράουλα σχεδιάστηκαν για να διορθώνουν πιθανές ατέλειες του νήματος. Θεωρητικά αν το ζεστό και μαλακό νήμα περάσει από την οπή και σε κάποιο σημείο έχει μεγαλύτερη διάμετρο θα συμπιεστεί και θα μικρύνει η διατομή, ενώ αν το νήμα έχει μικρότερη διάμετρο λόγω της προηγούμενης συμπίεσης και μετατόπισης του επιπλέον υλικού θα διογκωθεί.



Εικόνα 31: Τα ράουλα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Creo 3.0.



Το νήμα δηλαδή θα περνάει ανάμεσα από την οπή που ενώνει τα δύο ράουλα διαμέτρου 1,75mm, όσο είναι και η επιθυμητή διάμετρο του νήματος. Η οπή των ράουλων έρχεται σε ευθεία με την οπή του ακροφυσίου έτσι ώστε να μην υπάρχει κάποια ένταση σε ένα από τα δύο ράουλα περισσότερη από το άλλο. Το κάθε κυλινδράκι έχει διάμετρο 16mm και πάχος 2,65mm. Η εσωτερική κοιλότητα κάθε κυλίνδρου έχει ύψος ίσο με $r/2$ και πλάτος ίσο με της συνολικής διαμέτρου της οπής, όπου γορίζεται ως η ακτίνα του κύκλου.

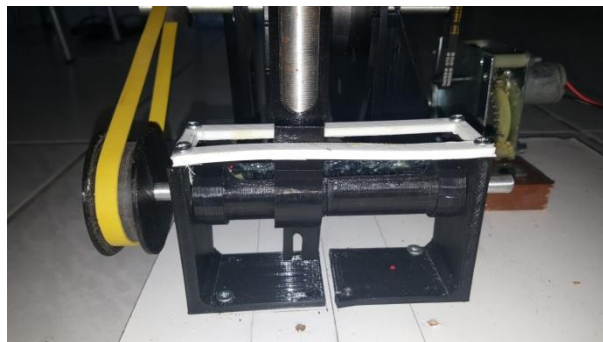
Η βάση στήριξης έχει διαστάσεις 25x 10mm και ύψος 1,5mm.

Τα πλαϊνά στηρίγματα έχουν συνολικό ύψος 40mm, 35mm μέχρι το κέντρο του κύκλου που έχει σχεδιαστεί στο πάνω μέρος των στηριγμάτων και 5mm ακόμα η ακτίνα του. Τέλος το πάχος τους είναι 2mm.

Ο λόγος που σχεδιάστηκαν τα ράουλα με αυτό τον τρόπο είναι για να κινούνται ελεύθερα. Έτσι δεν ασκούν άλλες δυνάμεις στο νήμα πέρα από τις θλιπτικές.

5.6 Οδηγός νήματος

Σκοπός του οδηγού νήματος είναι να οδηγεί το νήμα δεξιά και αριστερά τυλίγοντας το πάνω στο καρούλι ομοιόμορφα (Εικόνα 32).



Εικόνα 32: Απεικόνιση του συναρμολογημένου οδηγού νήματος, όπου φαίνεται η οπή από την οποία διέρχεται το νήμα.

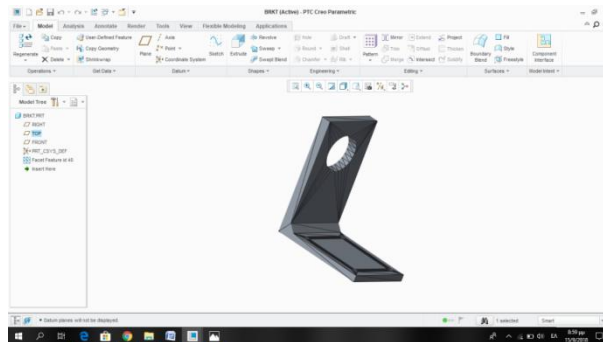
Αποτελείται από οκτώ κομμάτια, με τη σειρά που παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Υποστήριγμα x 2
2. Κύλινδρος
3. Στήριγμα κυλίνδρου x 2
4. Μισός οδοντωτός τροχός
5. Γρανάζι λήψης κίνησης
6. Οδηγός
7. Γάντζος
8. Στήριγμα βάρους γάντζου



5.6.1 Το υποστήριγμα

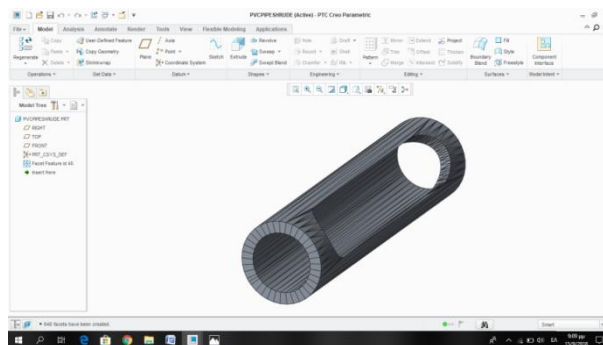
Το υποστήριγμα απεικονίζεται στη παρακάτω εικόνα με διαστάσεις 40 x 61mm και ύψος 71mm. Στα τέσσερα άκρα της βάσης του υποστηρίγματος έχουν σχεδιαστεί οπές για βίδες M4 ενώ στη πλάτη του έχει σχεδιασθεί οπή 22mm. Το πάχος τοιχώματος της πλάτης του υποστηρίγματος είναι 6mm και το πλάτος της βάσης είναι 4mm.



Εικόνα 33: Το υποστήριγμα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Cero. Φαίνεται η οπή στην πλάτη του κομματιού καθώς και οι οπές για τις βίδες, στις άκρες του μαυρισμένου τετραγώνου στη βάση του.

5.6.2 Ο κύλινδρος

Ο κύλινδρος έχει διαστάσεις 110 μήκος, εξωτερική διάμετρο 26,5mm και εσωτερική 19 mm. Στο κέντρο του έχει σχεδιαστεί κενό πλάτους 17,8mm και μήκους 74mm με το κυλινδρικό μέρος στις δύο άκρες 17,8mm (8,2 mm από κάθε πλευρά), συνολικού μήκους 91,8mm.



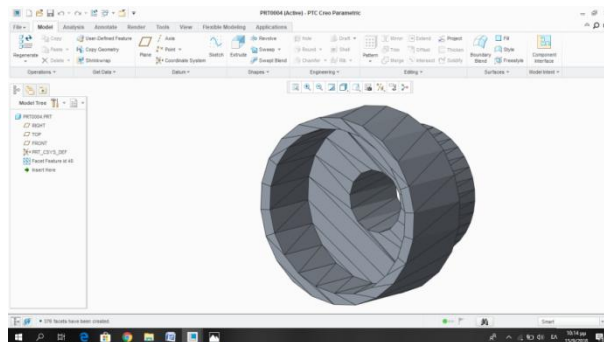
Εικόνα 34: Ο κύλινδρος στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Cero. φαίνεται στην εικόνα η οπή στη μέση του σχεδίου με τις δύο ημικυκλικές άκρες.

5.6.3 Το στήριγμα του κυλίνδρου

Στο στήριγμα του κυλίνδρου η εσοχή έχει διάμετρο 26,5mm και βάθος 10mm. Η εσωτερική οπή είναι διαμπερής με διατομή 10mm. Η εξωτερική διάμετρος του μπροστινού τμήματος του στηρίγματος είναι 30mm, δηλαδή πάχος τοιχώματος



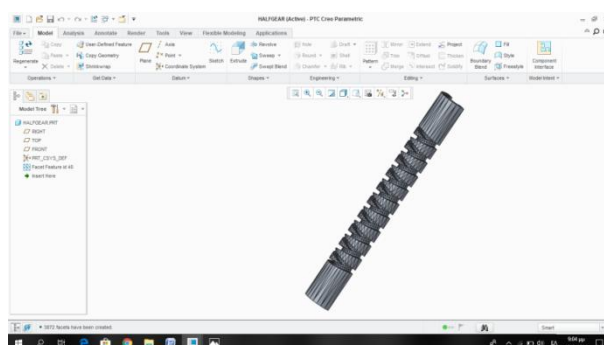
3,5mm και μήκος 12mm. Ενώ το πίσω τμήμα του στηρίγματος έχει μήκος 10mm και εξωτερική διάμετρο 21mm.



Εικόνα 35: Το στήριγμα του κυλίνδρου στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Cero.

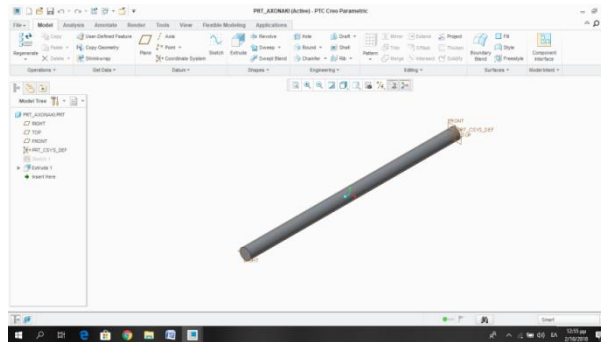
5.6.4 Ο μισός οδοντωτός τροχός

Ο μισός οδοντωτός τροχός έχει μήκος 109mm, με εσωτερική ακτίνα 8,5mm και εξωτερική 16mm. Η εσωτερική οδόντωση έχει μήκος 73mm, βήμα δοντιού 2mm και βάθος δοντιού 2,5mm. Το μήκος της οδόντωσης είναι 1mm μικρότερο από αυτό του κυλίνδρου. Αυτό γίνεται διότι όπως θα διαπιστωθεί παρακάτω ο γάντζος έχει μικρότερη διατομή από 2,5mm, έτσι ώστε να υπάρχει ένας βαθμός ελευθερίας. Σε περίπτωση που κατά την κίνηση ο γάντζος βρεθεί στην άκρη του οδοντωτού τροχού να μην ακουμπήσει πάνω στο στήριγμα του κυλίνδρου και σπάσει. Τα σπείρωμα είναι τετραγωνικού τύπου με διπλή αρχή και αντίθετη φορά. Η οδόντωση έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε όταν ο γάντζος φτάσει στα άκρα της θα αλλάξει φορά κίνησης ενώ ο οδοντωτός τροχός θα κινείται συνεχώς προς την ίδια κατεύθυνση.



Εικόνα 36: Στην εικόνα απεικονίζεται ο μισός οδοντωτός τροχός.

Τυπώθηκαν δύο κομμάτια τα οποία ενώθηκαν γύρω από ένα μεταλλικό κύλινδρο, ώστε να σχηματιστεί ένα ενιαίο εξάρτημα. Ο κύλινδρος σχεδιάστηκε για να οριστούν οι διαστάσεις του.

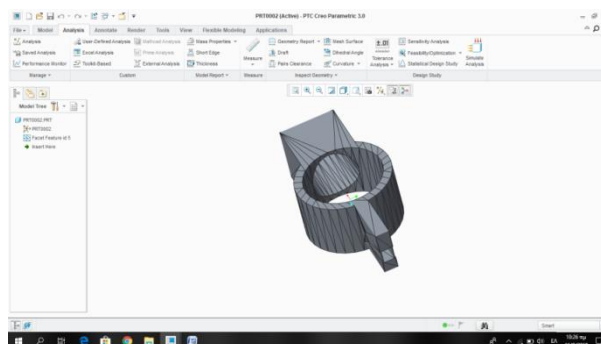


Εικόνα 37: Το κυλινδράκι ένωσης των δύο μισών οδοντωτών τροχών.

5.6.5 Ο οδηγός

Ο οδηγός του νήματος είναι ουσιαστικά ένα δαχτυλίδι με εσωτερική διάμετρο 28mm, πάχος τοιχώματος 3mm και πλάτους 20mm. Στο πάνω μέρος του είναι σχεδιασμένο ένα τετράγωνο διαστάσεων 20 x 20mm και ύψους 19mm. Στο εσωτερικό του τετραγώνου υπάρχει διαμπερή οπή διαμέτρου 17mm. Μέσα από την οπή περνάει ο γάντζος, οποίος θα έρθει σε επαφή με τον οδοντωτό τροχό. Στο κάτω μέρος του οδηγού είναι σχεδιασμένο ένα παραλληλόγραμμο 16,3mm από το ένα άκρο του δαχτυλιδιού. Δεν υπάρχει κάποιο ιδιαίτερος λόγος που το παραλληλόγραμμο δεν διατρέχει και τα 20mm που είναι όλο το πλάτος του δαχτυλιδιού. Το ύψος του είναι 18,5mm και πλάτος 5mm. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα υπάρχει μία οπή στο παραλληλόγραμμο η οποία είναι σχεδιασμένη με βάση της αξονική γραμμή του δαχτυλιδιού και όχι του παραλληλόγραμμου.

Το συνολικό ύψος της οπής είναι 14,7mm με το κυκλικό κομμάτι στο άνω μέρος της με ακτίνα 2,5mm και πλάτος 2,5mm. Η οπή θα έπρεπε να είναι καθ' όλο το ύψος της διαμπερής, αλλά τα μικρά τοιχώματα προς και πίσω τα οποία θα αφαιρεθούν μετά την τύπωση του κομματιού.

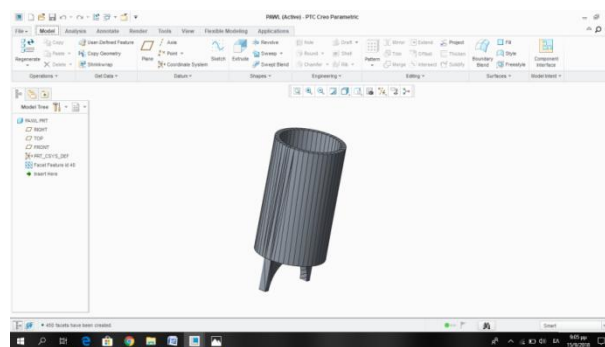


Εικόνα 38: Ο οδηγός στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Creo.



5.6.6 Ο γάντζος

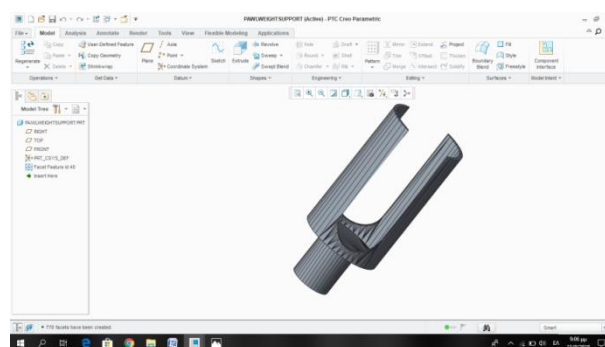
Το κυλινδρικό τμήμα του γάντζου έχει ύψος 25mm και εξωτερική διάμετρο 15mm. Η εσωτερική οπή έχει διάμετρο 13mm και ύψος 22mm, μέσα στη οποία μπαίνει το στήριγμα του βάρους. Οι δυο προεξοχές έχουν διαστάσεις 15 x 7 x 1,7mm. Στο κέντρο έχει σχεδιαστεί ημικύκλιο με ακτίνα 6,35mm. Ο γάντζος είναι το βασικό εξάρτημα του μηχανισμού το οποίο κινείται από τη μια άκρη στην άλλη πάνω στον οδοντωτό τροχό και τυλίγει ομοιόμορφα το filament πάνω στο καρούλι.



Εικόνα 39: ο γάντζος στο Creo, όπου φαίνεται η εσωτερική οπή αλλά και τα “αυτάκια” του.

5.6.7 Το στήριγμα του βάρους

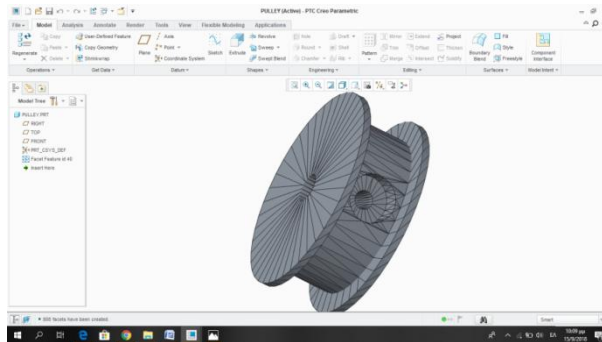
Σκοπός του εξαρτήματος αυτού είναι με τη προσθήκη ενός βαριδίου να κρατάει το γάντζο σε συνεχή επαφή με τον οδοντωτό τροχό. Η θήκη του βαριδίου έχει εξωτερικό μήκος 42mm και πάχος τοιχώματος 1mm. Η εσωτερική διάμετρος είναι 22,53mm και βάθος 41mm.



Εικόνα 40: Το στήριγμα του βάρους με το κυλινδρικό τμήμα που εισέρχεται στον γάντζο.

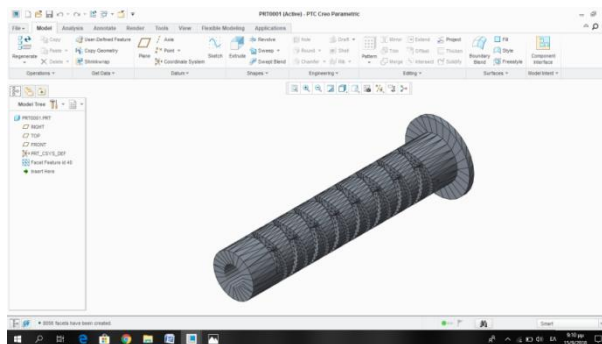
5.6.8 Το γρανάζι λήψης κίνησης

Το γρανάζι με διάμετρο 55mm και πλάτος 20mm. Η διάμετρος της εσοχής για την επαφή με τον ιμάντα μετάδοσης κίνησης είναι 44mm και πλάτος 52mm. Στο κέντρο στη εσοχής έχει σχεδιαστεί οπή για κοχλία M5 με διάμετρο κεφαλής 13mm.



Εικόνα 41: Το γρανάζι μετάδοσης κίνησης στο Creo.

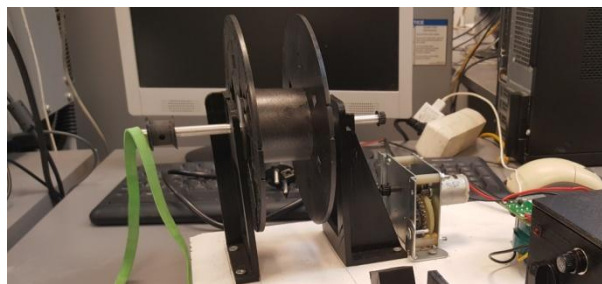
Ένα ακόμη σχέδιο που λήφθηκε με τα υπόλοιπα αρχεία, ήταν το συναρμολογημένο σχέδιο του οδοντωτού τροχού. Το κομμάτι τυπώθηκε αλλά δεν χρησιμοποιήθηκε καθώς το μήκος του δεν είναι το απαιτούμενο.



Εικόνα 42: Το ολοκληρωμένο κομμάτι του οδοντωτού τροχού που δεν χρησιμοποιήθηκε.

5.7 Καρούλι τυλίξεως νήματος

Πάνω στο καρούλι τυλίγεται το νήμα ομοιόμορφα λόγω της συνεισφοράς του οδηγού και στη συνέχεια, το νήμα χρησιμοποιείται από τον εκτυπωτή (Εικόνα 43).



Εικόνα 43: Στην εικόνα απεικονίζεται το καρούλι τυλίξεως νήματος με το μοτέρ.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα κομμάτια που αποτελείται το τμήμα αυτό:

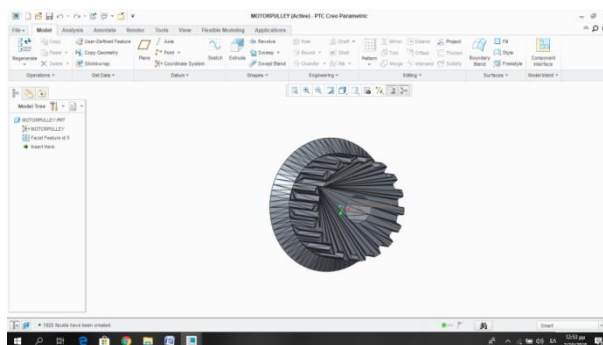
1. Γρανάζι μοτέρ x 2
2. Γρανάζι μετάδοσης κίνησης



3. Άξονας μετάδοσης κίνησης και σύνδεσης εξαρτημάτων
4. Καρούλι
5. Αποστάτης
6. Στηρίγματα x 2
7. Πίνακας

5.7.1 Γρανάζι μοτέρ

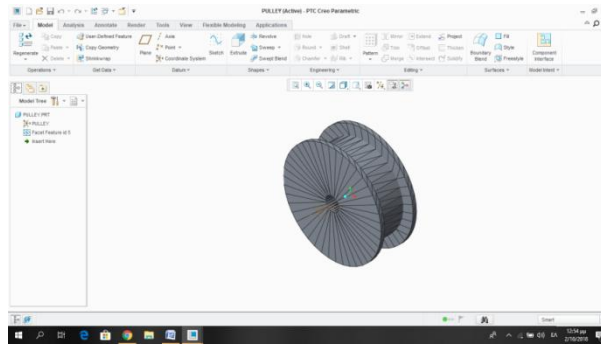
Σκοπός του γραναζιού αυτού είναι η μετάδοσης της κίνησης από το μοτέρ στον άξονα μέσω ενός ιμάντα και ενός ακόμα ίδιου γραναζιού, ώστε η μετάδοση κίνησης να είναι 1/1. Η διάμετρος του οδοντωτού μέρους είναι 11mm από κορυφή σε κορυφή δοντιού και το πλάτος του 6mm, με βήμα οδόντωσης 2mm. Η εξωτερική διάμετρος του εξαρτήματος είναι 14mm και πλάτος 1,5mm. Η γωνία που σχηματίζεται είναι 45°. Στο κέντρο του γραναζιού υπάρχει οπή για τη σύνδεση με τον άξονα του μοτέρ το ένα και τον άξονα μετάδοσης κίνησης το άλλο. Η διάμετρο της οπής είναι 3mm, στη περίπτωση μας όμως δεν έχει ιδιαίτερη σημασία και θα γίνει αναφορά σε αυτό στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 44: Το γρανάζι μοτέρ στο Creo.

5.7.2 Γρανάζι μετάδοσης κίνησης

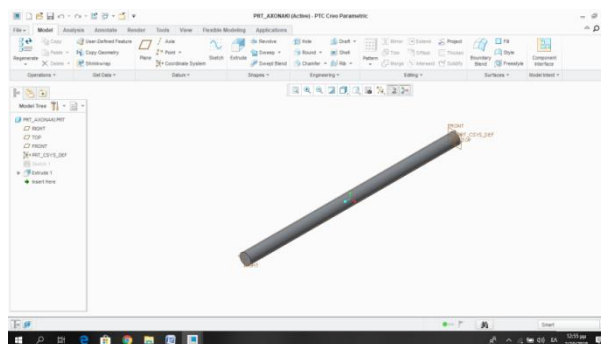
Το συνολικό πλάτος του γραναζιού αυτού είναι 20mm. Το ύψος των τοιχωμάτων του είναι 55mm και πλάτος 2mm. Σκοπός της εσωτερικής αυλάκωσης είναι η τοποθέτηση του ιμάντα. Η εσωτερική διάμετρος είναι 44mm και πλάτος 16mm. Το γρανάζι αυτό δεν έχει οδόντωση. Σκοπός του γραναζιού αυτού είναι η μετάδοση της κίνησης μέσω του ιμάντα στο γρανάζι του οδηγού filament. Η οπή στο κέντρο του γραναζιού είναι 8mm.



Εικόνα 45: Στην εικόνα παρουσιάζεται το γρανάζι χωρίς οδόντωση.

5.7.3 Άξονας μετάδοσης κίνησης και σύνδεσης εξαρτημάτων

Ο άξονας δεν είναι ένα από τα κομμάτια που λήφθηκαν από το διαδίκτυο. Η διάμετρος του άξονα μετάδοσης κίνησης είναι 8mm και το μήκος του έχει σχεδιαστεί με βάση το άθροισμα των επιμέρους εξαρτημάτων που διατρέχει, με την πρόσθεση κάποιων κενών ανάμεσα στα εξαρτήματα αυτά. Το μήκος αυτό υπολογίστηκε στα 165mm.



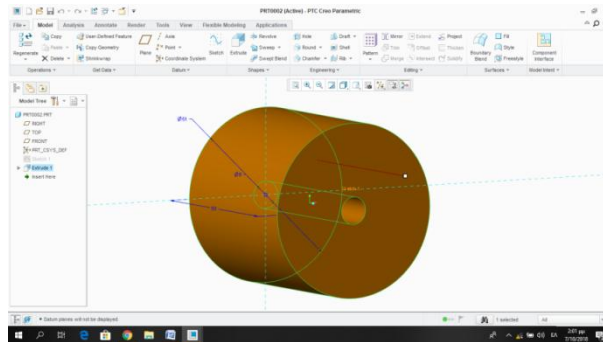
Εικόνα 46: Άξονας ένωσης κομματιών στο Creo.

5.7.4 Αποστάτης

Ο αποστάτης χρησιμοποιήθηκε για την κάλυψη της απόστασης μεταξύ του άξονα και του καρουλιού περιέλιξης νήματος.

Ο αποστάτης είναι ένα ακόμα εξάρτημα που δεν λήφθηκε από το διαδίκτυο αλλά σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε για να διευκολύνει την κατασκευή του τυλιχτικού.

Οι διαστάσεις του ορίστηκαν με βάση το μέγεθος του καρουλιού που επιλέχθηκε, έτσι ώστε να εφαρμόζει ακριβώς. Με εξωτερική διάμετρο 51mm και πλάτος 50mm. Ενώ η εσωτερική οπή σχεδιάστηκε ώστε να εισέρχεται ο άξονας. Ο αποστάτης επίσης σχεδιάστηκε ώστε να έχει σφηνωτή εφαρμογή στο καρούλι αλλά και στον άξονα.

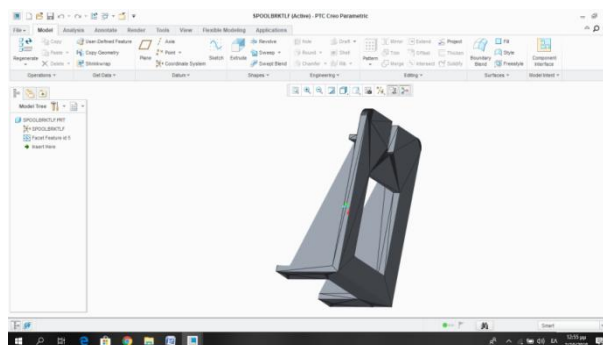


Εικόνα 47: Σχεδιασμός του αποστάτη στο Creo.

5.7.5 Στήριγματα

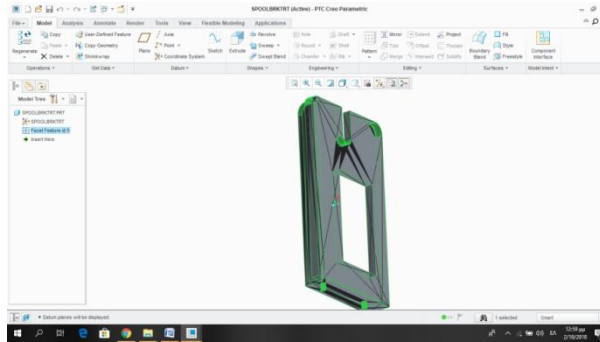
Το στήριγμα της παρακάτω φωτογραφίας είναι μεγαλύτερο από το άλλο καθώς είναι εκείνο το οποίο τοποθετείται στη μεριά σύνδεσης με το μοτέρ και δέχεται περισσότερες δυνάμεις (Εικόνα 48).

Το στήριγμα αυτό έχει διαστάσεις βάσης 58 x 86mm και ύψος 5mm. Στα άκρα της βάσης υπάρχουν οπές 4mm για βίδες. Το τοίχωμα του στηρίγματος έχει ύψος 140mm και πάχος τοιχώματος 6mm. Στο πάνω μέρος του τοιχώματος έχει σχεδιαστεί άνοιγμα συνολικού βάθους με κυλινδρικό κάτω μέρος διαμέτρου 10mm. Το κυλινδρικό τμήμα αυτό χρησιμεύει σαν ρουλεμάν, όπου πατάει ο άξονας μετάδοσης κίνησης. Για να την αύξηση αντοχής του κομματιού αυτού έχουν σχεδιαστεί υποστυλώματα πάχους 4mm και ύψους 11mm. Το υποστύλωμα στο κάτω μέρος έχει μήκος 52mm και στο πάνω 11mm.



Εικόνα 48: Στήριγμα από τη μεριά του μοτέρ.

Το δεύτερο στήριγμα δεν έχει τόσο γερή κατασκευή όσο το δεύτερο διότι βρίσκεται από τη μεριά που φεύγει η κίνηση από το καρούλι και πάει στον οδηγό του filament και δεν δέχεται τόσο μεγάλες δυνάμεις. Το κομμάτι αυτό έχει δύο οπές για βίδες 4mm διάμετρο. Το υποστήριγμα στο κομμάτι αυτό έχει πάχος 5mm, ενώ αφήνει ένα κενό 11mm από την αριστερή πλευρά (Εικόνα 49).



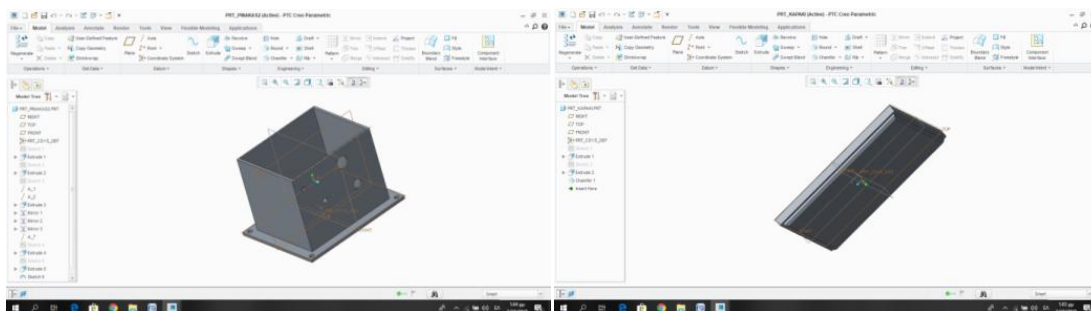
Εικόνα 49: Στήριγμα από τη μεριά σύνδεσης με τον οδηγό.

5.7.6 Πίνακας

Ο πίνακας σχεδιάστηκε με σκοπό να τοποθετηθούν στις οπές του (όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 50) οι διακόπτες για το χειρισμό ολόκληρου του τυλιχτικού συμπλέγματος.

Ο πίνακας έχει διαστάσεις 100 x 80mm και 83mm ύψος, μαζί με τη βάση, οι διαστάσεις της οποίας είναι 120 x 100mm και ύψος 3mm. Τα πλαϊνά τοιχώματα έχουν πάχος 2,5mm ενώ το μπροστά και πίσω σχεδιάστηκαν πιο λεπτά με πάχος 1,5mm. Τα τοιχώματα αυτά σχεδιάστηκαν με αυτό το πάχος, ώστε να εφαρμόζουν σωστά οι διακόπτες αλλά και να μπορούν να βιδωθούν πάνω στον πίνακα.

Οι διαστάσεις του πάνω τμήματος του καπακιού, το οποίο είναι το εμφανές τμήμα όταν το καπάκι ενωθεί με τον πίνακα είναι 80 x 100 x 5 . Οι διαστάσεις του τμήματος ένωσης με τον πίνακα 76 x 96 x 3mm με το 1,5mm να έχει γωνία 45° με εσωτερική κλίση για να κουμπώνει σταδιακά.



Εικόνα 50: Ο πίνακας διακοπών χειρισμού του τυλιχτικού συμπλέγματος δεξιά και αριστερά το καπάκι του.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Υλοποίηση

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η διαδικασία κατασκευής εκτός του κυρίως τμήματος του extruder, των ράουλων, του τραβηχτικού και του τυλιχτικού συμπλέγματος.(75,75,75,75)

6.1 Ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του πλαστικού

Ο τρόπος κατασκευής του κυλίνδρου συμπίεσης και τήξης υλικού κατασκευάστηκε με γνώμονα όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο Διαιρούμενος κύλινδρος, πως είναι απαραίτητος ο καθαρισμός του εξαρτήματος αυτού μετά από κάθε χρήση.

Ο κύλινδρος κατασκευάστηκε από δύο αλουμιένιες πλάκες μήκους 183,5mm και πάχους 25 x 50mm.

Οι δύο πλάκες συσφίχθηκαν σε μία μέγγενη, όπου και τρυπήθηκαν για το σχηματισμό τεσσάρων διαμπερών οπών για βίδες M5 x 50mm και 2 έκκεντρα σχεδιασμένες τρύπες για πύρους 5 x 50mm, ώστε να κεντράρει με ακρίβεια. Οι οπές δεν έγιναν ακριβώς στη μέση του κομματιού αλλά πιο κοντά στο ένα άκρο, καθώς στο άλλο θα δημιουργηθεί το κυλινδρικό τμήμα (Εικόνα 51).

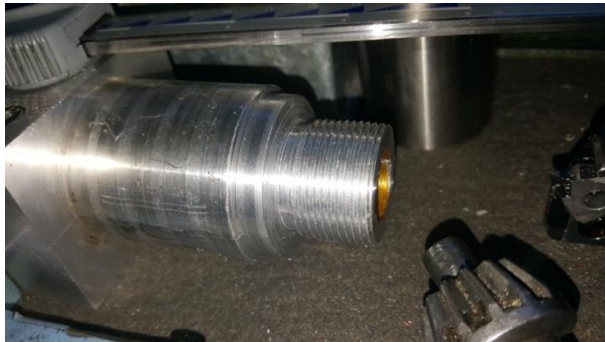


Εικόνα 51: Κατεργασία για τη δημιουργία οπών στις πλάκες αλουμινίου, ενώ παραμένουν δεμένες στη μέγγενη.

Οι δύο πλάκες παρέμειναν ενωμένες έως ότου περάστηκαν οι βίδες, έτσι ώστε να μην είναι απαραίτητη η χρήση της μέγγενης για να τις κρατάει σταθερές. Μετά τη σύνδεση των δυο κομματιών του κυλίνδρου η κατεργασία του συνεχίστηκε στον τόρνο για τη διαμόρφωση του κυλινδρικού σχήματος και της εσωτερικής οπής διαμέτρου 16mm από την οποία διέρχεται ο κοχλίας μεταφοράς υλικού. Το υπόλοιπο κομμάτι παρέμεινε παραλληλόγραμμο διότι αν του δίνονταν κυλινδρικό σχήμα σε συνδυασμό με τις οπές για τις βίδες, θα οδηγούσε σε απώλεια αντοχής του υλικού. Με τον τρόπο όμως αυτό εξασφαλίζεται και μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα λόγω του



αυξημένου όγκου του υλικού στο συγκεκριμένο σημείο. Στις δυο άκρες του κυλίνδρου σχεδιάστηκε μετρικό σπείρωμα έτσι ώστε στη μία άκρη να βιδώνει η φλάντζα και στην άλλη η κεφαλή του extruder. Το σπείρωμα στο μπροστινό μέρος για να βιδώνει το ακροφύσιο είναι M30 x 1,5mm και η κατεργασία του έγινε στον τόρνο (Εικόνα 52).



Εικόνα 52: Ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του υλικού πάνω στον τόρνο μετά την κατεργασία του για τη δημιουργία του σπείρωματος,

6.2 Η κεφαλή του extruder (ακροφύσιο)

Για την κατασκευή του τελικού τμήματος του κυλίνδρου συμπίεσης και τήξης που υλικού χρησιμοποιήθηκε κύλινδρος χάλυβα ο οποίος υπέστη κατεργασία έως ότου φτάσει τις απαιτούμενες διαστάσεις (Εικόνα 53). Η κατεργασία έγινε εξολοκλήρου στον τόρνο.



Εικόνα 53: Όπως φαίνεται στην εικόνα η κεφαλή του extruder διαχωρίζεται από τον κύλινδρο συμπίεσης και τήξης, διαθέτει επίσης και την οπή για να βιδωθεί το μπεκ.

Ο αρχικός κύλινδρος είχε μεγαλύτερο μήκος από το απαιτούμενο έτσι κόπηκε. Κόπηκε σε μεγαλύτερο μήκος από 51mm που είναι το απαιτούμενο μήκος για να υπάρχει η ελευθερία διόρθωσης σε περίπτωση κάποιου λάθους. Στη συνέχεια ήρθε στο σωστό μήκος με συνεχείς προώσεις, όσο πλησιάζαμε στις σωστές διαστάσεις οι προώσεις έγιναν 0,5mm έως και 0,2mm κάθε φορά για να υπάρξει ασφάλεια και σιγουριά για την αποφυγή λάθους.



Το εσωτερικό σπείρωμα για τη σύνδεση με τον κύλινδρο συμπίεσης έχει και αυτό διαστάσεις M30 και βήμα 1,5mm, για να είναι δυνατή η ακριβής σύνδεση μεταξύ τους (Εικόνα 54).



Εικόνα 54: Στην εικόνα παρουσιάζεται η εσωτερική κατεργασία για τη διαμόρφωση του σπειρώματος του ακροφυσίου στον τόρνο.

Το τελικό σπείρωμα για το ακροφύσιο είναι M15, μήκους 5mm πλάτους και βήμα 1mm. Η κατεργασία έγινε στον τόρνο με κολαούζο (Εικόνα 55).



Εικόνα 55: Η κατεργασία του σπειρώματος για το μπεκ με κολαούζο σε τόρνο του εργαστηρίου.

Όλα τα ακροφύσια του εργαστηρίου ανεξαρτήτως διαμέτρου εξόδου νήματος έχουν το ίδιο σπείρωμα για να μπορούν να αλλάζονται στον extruder και να παράγεται υλικό διαφορετικών διατομών (Εικόνα 56).



Εικόνα 56: Τα διαθέσιμα ακροφύσια διαφορετικών διατομών (2mm, 1,8mm και 1,5mm) του εργαστηρίου.

Μία τελική κατεργασία που θεωρήθηκε απαραίτητη ήταν η κατασκευή αυλακιών στο εμπρός τμήμα της κεφαλής για τη διευκόλυνση της αποσύνδεσης από τον κύλινδρο συμπίεσης και τήξης του υλικού με τη χρήση κλειδιού (Εικόνα 57). Η κατεργασία έγινε στον αυτόματο τόρνο CNC του εργαστηρίου.



Εικόνα 57: Το αυλάκι στο ακροφύσιο για τη χρήση κλειδιού.

6.3 Το ορειχάλκινο δαχτυλίδι

Το ορειχάλκινο δαχτυλίδι (Εικόνα 58) κατασκευάστηκε για να λειτουργήσει σαν έδρανο κύλισης. Η εφαρμογή κάποιας στήριξης στο σημείο ήταν απαραίτητη αλλά και αδύνατη η χρήση ρουλεμάν εσωτερικά του ακροφυσίου. Έτσι επιλέχθηκε ο ορείχαλκος του οποίου οι συνήθεις χρήσεις περιλαμβάνουν εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή τριβή. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα που αξίζει να αναφερθεί είναι αντίσταση του ορείχαλκου στη διάβρωση.



Εικόνα 58: Αριστερά στο ορειχάλκινο δαχτυλίδι μετά στην κατεργασία του και δεξιά προσαρμοσμένο στο ακροφύσιο.

6.4 Ο κοχλίας μεταφοράς και συμπίεσης υλικού

Ο κοχλίας μεταφοράς και συμπίεσης του υλικού κατασκευάστηκε στον τόρνο τεσσάρων αξόνων του εργαστηρίου. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκε ράβδος χάλυβα αρχικών διαστάσεων 500 x 18mm και η κατεργασία του διήρκησε 8 ώρες (Εικόνα 59).



Εικόνα 59: Η κατεργασία του κοχλίας στον τόρνο τεσσάρων αξόνων του εργαστηρίου.

Ακόμη στη μηχανή CNC δημιουργήθηκε μικρή εγκοπή ώστε να ασφαλίσει ο οδοντωτός τροχός μέσω μίας βίδας πάνω στον κοχλία (Εικόνα 60).



Εικόνα 60: Η εγκοπή που εξασφαλίζει την ασφάλιση του οδοντωτού τροχού πάνω στον κοχλία.



Μετά το σπείρωμα του κοχλίου η διάμετρος στο υπόλοιπο τμήμα του είναι 12mm, εκτός από ένα μικρό τμήμα μήκους 10mm, όπου η διάμετρος του είναι 16mm και χρησιμοποιείται σαν στήριγμα μέσα στον κύλινδρο του χωνιού (Εικόνα 61).



Εικόνα 61: Ο κοχλίας μεταφοράς του υλικού σε όλο του το μήκος.

6.5 Αποστάτης

Ο αποστάτης κατασκευάστηκε για να μην χρειαστεί να κοπεί το χωνί ώστε να ταιριάζει στις διαστάσεις του κοχλίου, καθώς θα ήταν δυσκολότερη και πιο χρονοβόρα η κατασκευή σπειρώματος (Εικόνα 62). Οι διαστάσεις του είναι 65mm μήκος, εσωτερική διάμετρος διότι περικλείει τον κοχλία 12mm και η εξωτερική διάμετρος που έρχεται σε επαφή με το χωνί είναι 16mm. Χρησιμοποιείται δηλαδή σαν έδρανο κύλισης (ρουλεμάν).



Εικόνα 62: Ο αποστάτης περασμένος στον κοχλία και η σωστή εφαρμογή του.

6.6 Το χωνί πλήρωσης Υλικού

Για την κατασκευή του χωνιού χρησιμοποιήθηκε μία παλιά ορθογώνια σωλήνα χάλυβα διαστάσεων 20 x 40mm με το απαιτούμενο ύψος να είναι στα 17cm. Η



αφαίρεση της σκουριάς και η λείανση της εξωτερικής επιφάνειας έγινε με γυαλόχαρτο. Στη συνέχεια στο ένα από τα δυο άκρα της διαμορφώθηκε ημικύκλιο με ακτίνα 8mm στον αυτόματο τόρνο CNC, καθώς αυτή η μεριά θα τοποθετηθεί μέσα στην σωλήνα και από εκεί θα περνάει ο κοχλίας μεταφοράς του υλικού (Εικόνα 63). Η ακτίνα του ημικύκλιου είναι ίση με την ακτίνα της σωλήνας με την οποία θα συγκολληθεί έτσι ώστε το εσωτερικό τμήμα του τελικού κομματιού να είναι λείο και χωρίς προεξοχές.

Το στραντζαριστό κομμάτι επιλέχθηκε με γνώμονα στην εξάλειψη της σπηλαιώσης που παρουσιαζόταν στο προηγούμενο χωνί. Έτσι με κάθετα τοιχώματα δεν θα υπάρχει τριβή ανάμεσα στο υλικό και τα τοιχώματα του χωνιού μόνο η βαρύτητα που θα το ωθεί προς τον κοχλία.



Εικόνα 63: Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η ακατέργαστη ορθογώνια σωλήνα και στη δεξιά η καθαρισμένη και κομμένη στην CNC σωλήνα για τη διαμόρφωση του ημικυκλίου.

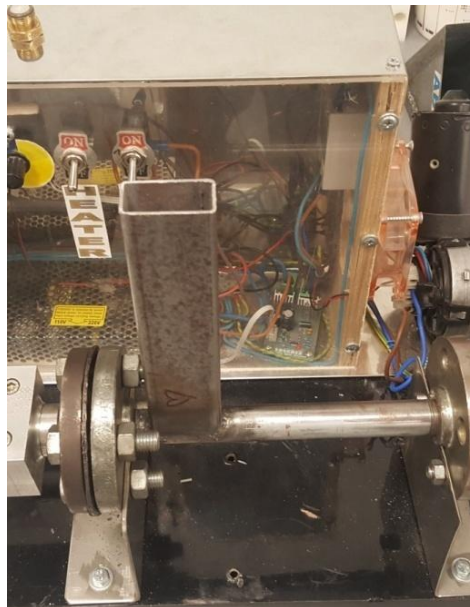
Ο κύλινδρος που χρησιμοποιήθηκε βρέθηκε στην αποθήκη του εργαστηρίου με έτοιμα τα σπειρώματα στα δυο άκρα του.

Η κατεργασία της οπής στον κύλινδρο μεταφοράς έγινε στον αυτόματο τόρνο με τις διαστάσεις να είναι τέτοιες ώστε να χωράει ακριβώς η ορθογώνια σωλήνα και βάθος κοπής να είναι ίσο με την ακτίνα του κυλίνδρου, δηλαδή 8mm (Εικόνα 64). Το βάθος κοπής ορίστηκε έτσι ώστε να γίνει εκμετάλλευση του μεγαλύτερου δυνατού ανοίγματος και η τοποθέτηση όσο μεγαλύτερης σωλήνας γίνεται. Η θέση στην οποία ανοίχτηκε η οπή καθορίστηκε έτσι ώστε δύο σπείρες του κοχλία να μείνουν καλυμμένες για την αποφυγή επιστροφής υλικού προς τα πίσω.



Εικόνα 64: Η κατεργασία του κυλίνδρου για τη διάνοιξη οπής στην CNC μηχανή.

Τα δύο κομμάτια συγκολλήθηκαν μεταξύ τους με κόλληση argon (Εικόνα 65). Το εξωτερικό τμήμα καθαρίστηκε σε τροχό ενώ για τον καθαρισμό του εσωτερικού χρησιμοποιήθηκε τρυπάνι τυλιγμένο με γυαλόχαρτο για την επίτευξη όσο το δυνατό πιο λείας επιφάνειας.



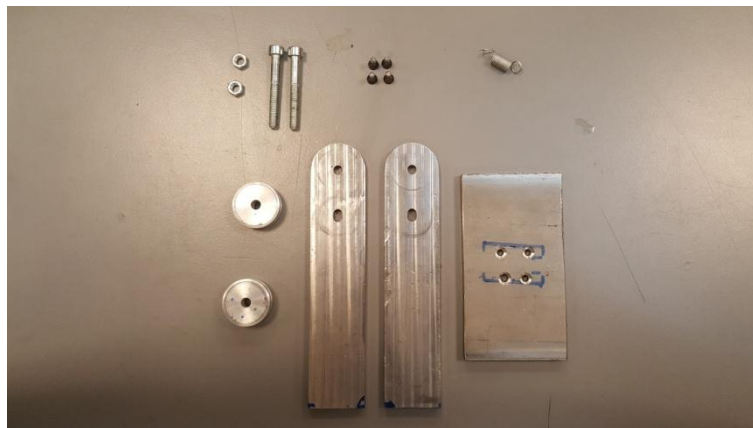
Εικόνα 65: Το χωνί πλήρωση υλικού έτοιμο προς χρήση συναρμολογημένο πάνω στον extruder.

6.7 Ράουλα

Για την κατασκευή των στηριγμάτων χρησιμοποιήθηκε πλάκα αλουμινίου πάχους 5,5mm, η οποία κόπηκε στην αυτόματη μηχανή του εργαστηρίου σε τρία κομμάτια. Τα πλαϊνά στηρίγματα κατεργάστηκαν στην αυτόματη μηχανή (CNC) ώστε να μειωθεί το πάχος των τοιχωμάτων τους από 5,5mm τα 4,5mm. Το συνολικό ύψος με την καμπυλότητα στην κορυφή είναι στα 100mm και το πλάτος στα 30mm. Για τη σύνδεση της βάσης με τα στηρίγματα χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις βίδες M3, οι οποίες προμηθεύτηκαν από κατάστημα με είδη μοντελισμού. Επίσης ανοίχτηκαν οπές για να περάσουν οι βίδες M5, με την πάνω οπή να έχει ακριβώς τη διάμετρο



5mm ενώ η κάτω 7mm. Η δεύτερη οπή σχεδιάστηκε ώστε να επιτρέπεται η κίνηση του κυλίνδρου προς τα πάνω μέσω ενός ελατηρίου. Το ελατήριο χρησιμοποιείται σαν σφικτήρας των δύο κυλίνδρων με μήκος 10mm, πλάτος 6mm και πάχος σπείρας 1mm (Εικόνα 66).



Εικόνα 66: Τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελούνται τα ράουλα (αποσυναρμολογημένη κατασκευή).

Τα κυλινδράκια κατεργάστηκαν σε τόρνο με την εσωτερική οπή από όπου διέρχεται το νήμα να σχηματίζεται στο κέντρο τους με συγκεκριμένο κοπτικό δια την επίτευξη της διάστασης μόνο με προώσεις προς το εσωτερικό του κυλίνδρου. Το πάχος κοπτικού είναι ίσο με 1.75mm όπως αναφέρεται σε παραπάνω κεφάλαιο (Ράουλα) και πρόωση ίση με $1.75/2$ με κάθε κυλινδράκι, δηλαδή 0.875mm. Παρακάτω παρουσιάζεται η συναρμολογημένη κατασκευή (Εικόνα 67).

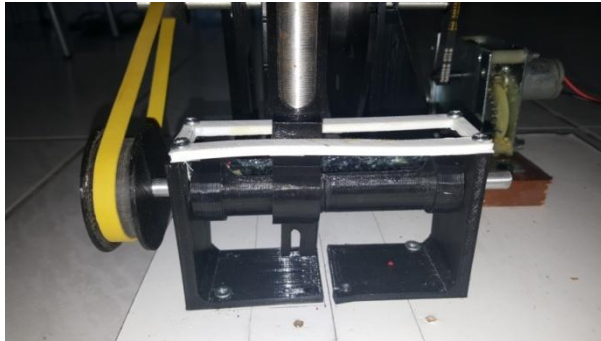


Εικόνα 67: Η συναρμολογημένη κατασκευή των ράουλων.



6.8 Οδηγός του filament

Όπως απεικονίζεται παρακάτω (Εικόνα 68) ο οδηγός του filament παίρνει κίνηση μέσω ενός λάστιχου από τον άξονα το καρουλιού τυλίξεως νήματος.



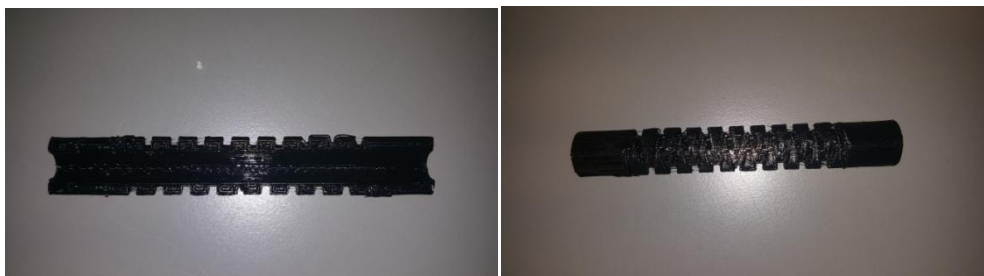
Εικόνα 68: Πλήρως συναρμολογημένος ο οδηγός νήματος.

Τα επιμέρους κομμάτια από τα οποία αποτελείται ο οδηγός αλλά και ο σκοπός κατασκευής του έχουν προαναφερθεί παραπάνω (Οδηγός νήματος).

Όλα τα κομμάτια τυπώθηκαν στον τρισδιάστατο εκτυπωτή του εργαστηρίου και κάποια από αυτά περισσότερα από μία φορές καθώς υπήρχε κίνδυνος να σπάσουν κατά τη συναρμολόγηση ή χαλούσαν κατά την τύπωση τους.

Ένα τέτοιο κομμάτι ήταν ο μισός οδοντωτός τροχός (Εικόνα 69). Το κομμάτι τυπώθηκε δυο φορές για να συναρμολογηθεί σαν ένα ενιαίο κομμάτι. Τυπώθηκε όμως τέσσερις φορές για να κατασκευαστούν δυο ολοκληρωμένοι οδοντωτοί τροχοί.

Το κομμάτι αυτό θεωρήθηκε εύκολο να καταστραφεί διότι αποτελείται από πολλά δοντάκια τα οποία μετά την τύπωση τους πρέπει να καθαριστούν από τα supportτου εκτυπωτή. Πέρα όμως από τον τυπικό καθαρισμό που θα υποστεί όπως άλλα τα κομμάτια, το συγκεκριμένο πρέπει να λειανθεί με λύμα και γυαλόχαρτο ώστε εξαλειφθούν τυχόν ανωμαλίες στην επιφάνεια του.



Εικόνα 69: Ο μισός οδοντωτό τροχός μπροστά και πίσω.

Στη συνέχεια οι δυο μισοί οδοντωτοί τροχοί κωλύθηκαν με κόλλα κατάλληλη για πλαστικό αλλά και μέταλλο γύρω από τον αλουμινένιο άξονα. Μετά τη ολοκλήρωση



της κόλλησης του οδοντωτού τροχού στον άξονα, το ένα από τα δύο άκρα του υπέστη επεξεργασία ώστε να μειωθεί η διάμετρος του (Εικόνα 70). Σκοπός της επεξεργασίας αυτής είναι να δημιουργηθεί υποδοχή ώστε να κουμπώσει σωστά και ακριβώς το γρανάζι μετάδοσης κίνησης.



Εικόνα 70: Στο δεξιό άκρο του άξονα φαίνεται μειωμένη διατομή του, αλλά και η ανομοιομορφία του οδοντωτού τροχού.

Εκτός από τα στηρίγματα που κυλίνδρου που χρησιμοποιούνται αντί για ρουλεμάν, ένα ακόμη κομμάτι που σχεδιάστηκε για να διευκολύνει τη λειτουργία του οδηγού είναι το άσπρο παραλληλόγραμμο που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 71). Η κατασκευή του ήταν απαραίτητη διότι το βαρίδι που χρησιμοποιείται και η βάση του από τα έτοιμα σχέδια έχουν υψηλό κέντρο βάρους και κατά την κίνηση τους τείνουν να εκτρέπουν από την πορεία του τον γάντζο.



Εικόνα 71: Τα στηρίγματα του κυλίνδρου και το παραλληλόγραμμο στήριγμα του βαριδιού.

6.9 Καρούλι τυλίξεως νήματος

Για το καρούλι τυλίξεως του νήματος χρησιμοποιήθηκε ένα άδειο καρούλι από χρησιμοποιημένο νήμα ειδικά για τον 3D printer του εργαστηρίου χωρητικότητας 200m νήματος. Στο κέντρο του καρουλιού υπήρχε κενό 51mm το οποίο έπρεπε να



φτάσει στα 8mm ώστε να ταιριάζει στον άξονα μεταφοράς κίνησης όπως αναφέρεται παραπάνω (Αποστάτης). Για την κατασκευή του αποστάτη καταργήθηκε ράβδος τεφλόν στον τόρνο. Ο αποστάτης εφαρμόστηκε πρεσαριστός στο καρούλι και δεν έχει κωλυθεί. Ωστόσο ο αποστάτης έχει κωλυθεί πάνω στον άξονα για να αποφευχθούν τυχόν μετατοπίσεις.

Ο άξονας περάστηκε μέσα από οπή στο κέντρο του αποστάτη ώστε να εξέχει ίσα και από τις δύο πλευρές. Στο ένα άκρο του άξονα κωλύθηκε το γρανάζι μετάδοσης κίνησης του οδηγού του νήματος. Το άλλο άκρο καταργήθηκε ελαφρά στον τόρνο ώστε να μειωθεί η διάμετρος του στα 8mm και μήκος όσο το πλάτος του γραναζιού του μοτέρ για να εφαρμόζει ακριβώς. Η διάμετρος του γραναζιού που δέχεται την κίνηση από το μοτέρ δεν επέτρεπε την διάνοιξη οπής στο κέντρο του μεγαλύτερης διαμέτρου. Στη συνέχεια το γρανάζι κωλύθηκε στον άξονα διότι δέχεται μεγάλη δύναμη από το μοτέρ και έπρεπε να είναι σταθερό. Η διάμετρος του άξονα ορίστηκε στα 8mm καθώς η οπή στο κάθε στηρίγμα όπου θα εδραστεί έχει διάμετρο 10mm (Εικόνα 72).

Παρατηρήθηκε αστάθεια κατά τη λειτουργία του άξονα πάνω στα στηρίγματα και χρειάστηκε να περιοριστεί η οριζόντια κίνηση του, έτσι κόπηκαν στον τόρνο δυο πείροι που τοποθετήθηκαν δεξιά και αριστερά έξω από τα στηρίγματα για ομοιομορφία. Οι βίδες που χρησιμοποιήθηκαν για τη στήριξη των στηριγμάτων στη βάση είναι M4.



Εικόνα 72: Το συναρμολογημένο καρούλι τυλίξεως νήματος και τα στηρίγματα του.

Το μοτέρ που χρησιμοποιήθηκε ήταν σούβλας, επιλέχθηκε όμως για τη δύναμη του, το χαμηλό κόστος αγοράς του και πληρούσε την απαιτούμενη ταχύτητα περιστροφής. Η τάση του μοτέρ είναι 12V συνεχούς ρεύματος (DC), έχει προσαρμοστεί όμως μετασχηματιστής για λειτουργία του μέσω εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) 220 V (Εικόνα 73). Στον άξονα περιστροφής του μοτέρ έχει



προσαρμοστεί το ίδιο γρανάζι με αυτό πάνω στον άξονα για τη μετάδοση της κίνησης να είναι 1/1 (Εικόνα 73).



Εικόνα 73: Το μοτέρ και ο μετασχηματιστής

Ο πίνακας οργάνων τυπώθηκε στον τρισδιάστατο εκτυπωτή του εργαστηρίου. Στην δεξιά πλευρά της εικόνας παρατηρείται η μπροστινή όψη του πίνακα με τους όλους τους διακόπτες στη θέση τους. Πάνω αριστερά έχει τοποθετηθεί η ενδεικτική κόκκινη λυχνία για να γνωρίζουμε αν το σύστημα μας διαρρέεται από ρεύμα. Δεξιά πάνω έχει τοποθετηθεί μία ασφάλεια. Αριστερά κάτω ο διακόπτης ρύθμισης ταχύτητας τριών θέσεων. Στη θέση της φωτογραφίας είναι κλειστό, στα αριστερά έχει τις μισές στόφες και δεξιά όλες τις στροφές. Δεξιά κάτω, ο διακόπτης με το κίτρινο κεφάλι είναι ένα ποτενσιόμετρο το οποίο τοποθετήθηκε για την ακριβέστερη ρύθμιση στοφών καθώς έχει απεριόριστες θέσεις προσαρμογής (Εικόνα 74).

Στο εσωτερικό του πίνακα έχει τοποθετηθεί το εσωτερικό των διακοπών όπου αποτελείται από πλακέτες αλλά και οι συνδέσεις μεταξύ των καλωδίων, διότι θεωρούνται ευπαθή στη σκόνη και την υγρασία (Εικόνα 74).

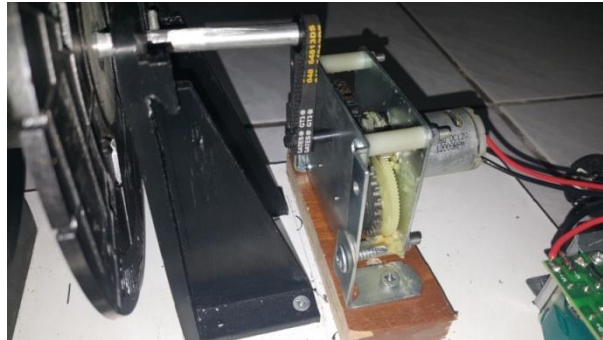


Εικόνα 74: Το εσωτερικό και το εξωτερικό του πίνακα οργάνων.

Για τη μετάδοση της κίνησης από το μοτέρ προς τον άξονα του καρουλιού χρησιμοποιήθηκε τυποποιημένος οδοντωτός ιμάντας βήματος 2mm (Εικόνα 75). Λόγο του τυποποιημένου ιμάντα ήταν αναγκαία η ρύθμιση του ύψους του μοτέρ.

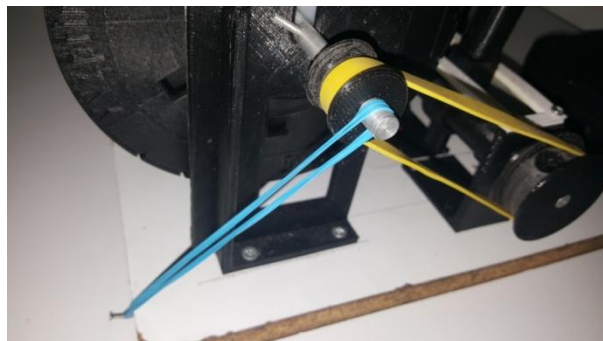


Προσαρμόστηκε ξύλινη βάση πάνω στο κόντρα πλακέ για να πατήσει το μοτέρ (Εικόνα 75).



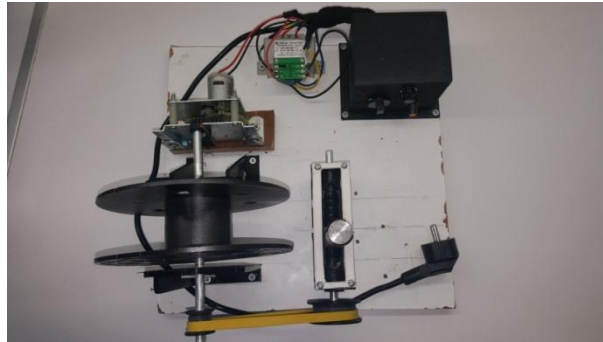
Εικόνα 75: Ο ιμάντας μετάδοσης κίνησης και η βάση του μοτέρ.

Η σύνδεση του καρουλιού τυλίξεως του νήματος με τον οδηγό γίνεται με λάστιχο περιτυλίξεως το οποίο καθόρισε και τη μεταξύ τους απόσταση. Για την αποφυγή της έλξης του καρουλιού καθώς η στήριξη του δεν είναι απόλυτη από το λάστιχο, τοποθετήθηκε δεύτερο λάστιχο το οποίο ασκεί αντίθετη δύναμη ώστε να κρατάει το καρούλι όσο το δυνατό περισσότερο ευθυγραμμισμένο. Το δεύτερο λάστιχο τοποθετείται στην εξωτερική μεριά του άξονα του καρουλιού και σε ένα καρφί καρφωμένο στο κόντρα πλακέ (Εικόνα 76).



Εικόνα 76: Το κίτρινο λάστιχο μετάδοσης κίνησης και το μπλε λάστιχο για την αντιστάθμιση της δύναμης που ασκεί το πρώτο.

Η βάση στήριξής είναι ένα κόντρα πλακέ βαμμένο με άσπρο χρώμα με τις σωστές διαστάσεις ώστε να χωράει όλα τα εξαρτήματα του τυλιχτικού αλλά να επιτρέπει και διορθώσεις στη μεταξύ του απόσταση (Εικόνα 77).



Εικόνα 77: Η ολοκληρωμένη κατασκευή του τυλιχτικού συμπλέγματος.

6.10 Τραβηχτικό νήματος

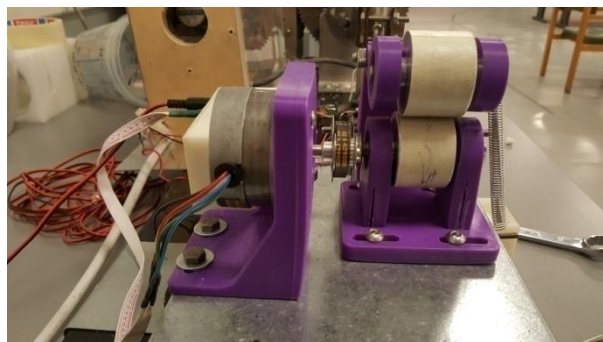
Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω η σπουδαιότητα κατασκευής ενός τραβηχτικού μηχανήματος είναι μεγάλη για την επίτευξη καλής ποιότητας νήματος (Αρχή λειτουργίας της κατασκευής). Στο εργαστήριο του Τ.Ε.Ι. προϋπήρχε μία τέτοια κατασκευή.

Η κατασκευή αποτελείται από ένα λευκό πίνακα χειρισμού για την αυξομείωση της ταχύτητας τραβήγματος. Ο οποίος περιέχει στο εσωτερικό του ένα arduino micro για το χειρισμό του 12V DC μοτέρ αλλά και μία οθόνη L.C.D., στην οποία αναγράφεται η ταχύτητα που μοτέρ επί της εκατό.

Ο σκελετός της κατασκευής τυπώθηκε εξολοκλήρου στον τρισδιάστατο εκτυπωτή του εργαστηρίου.

Η κίνηση του μοτέρ μεταφέρεται μέσω ιμάντα από τα γρανάζια με συντελεστή μετάδοσης $\frac{1}{2}$.

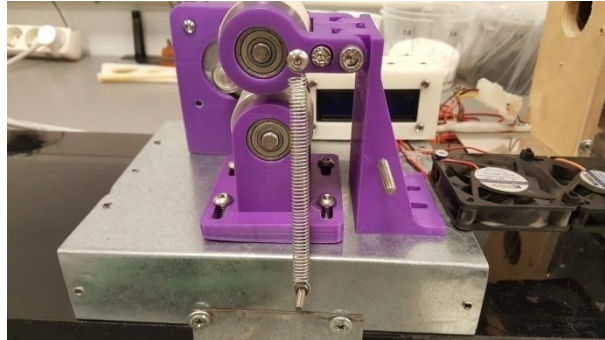
Το εξωτερικό τμήμα των κυλίνδρων έχει καλυφθεί με ταινία τύπωσης του 3D printer για να υπάρχει μεγαλύτερος συντελεστής τριβής στην επιφάνεια τους και να μην γλιστρά το νήμα (Εικόνα 78).



Εικόνα 78: Το μοτέρ με τη στήριξη του, ο ιμάντας μετάδοσης κίνησης και η ταινία του εκτυπωτή στα κυλινδράκια.



Τα κυλινδράκια στηρίζονται πάνω σε τυποποιημένα ρουλεμάν z809. Η βάση έχει κατασκευαστεί από λαμαρίνα και πάνω της έχει τοποθετηθεί βίδα ώστε να στερεωθεί η μία πλευρά του ελατηρίου. Η άλλη πλευρά του ελατηρίου ασκεί δύναμη στο επάνω κυλινδράκι έτσι ώστε και τα δυο μαζί να εφαρμόζουν τη δύναμη του μοτέρ στο νήμα. Πάνω στη βάση έχουν τοποθετηθεί τα δυο ανεμιστηράκια που ψύχουν το ζεστό νήμα για να αποφευχθεί η περεταίρω παραμόρφωση του (Εικόνα 79).



Εικόνα 79: Πλάγια όψη του τραβηχτικού όπου φαίνεται το ελατήριο, τα ανεμιστηράκια και τα ρουλεμάν.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Προβλήματα & τρόποι βελτιστοποίησης

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διάρκεια περάτωσης της πτυχιακής εργασίας, κάποια από τα οποία ήταν μικρά και εύκολα διορθώσιμα και άλλα επέφεραν καθυστέρηση στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Ακόμα παρατίθενται τρόποι βελτιστοποίησης όλων των προαναφερθέντων συμπλεγμάτων και τα αποτελέσματα που θα επιτευχθούν πραγματοποιώντας τις αλλαγές αυτές.

Σ

7.1 Προβλήματα και δυσκολίες κατά τη διάρκεια κατασκευής

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν η κατασκευή κοχλίας μεταφοράς υλικού. Η διαδικασία ήταν χρονοβόρα και έπρεπε να γίνει χωρίς διακοπή. Ο λόγος ήταν η απόκλιση της CNC και ο μηδενισμός της κάθε φορά. Με τον τρόπο αυτό χάλασε ένας κοχλίας.

Δυο ακόμη χάλασαν διότι μπήκε σε λειτουργία το μοτέρ για την περιστροφή τους χωρίς να έχει ζεσταθεί αρχικά ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του υλικού (Εικόνα 80).



Εικόνα 80: Ένας από τους σπασμένους κοχλίες μεταφοράς του υλικού.

Ένα αναπάντεχο πρόβλημα που εμφανίστηκε ήταν ότι χάλασαν τα πάσα του κυλίνδρου συμπίεσης (Εικόνα 81) και του ακροφυσίου στην προσπάθεια αποσυναρμολόγησης τους για τον απαιτούμενο καθαρισμό. Αυτό οφείλεται ίσως στον κακό καθαρισμό των σπειρωμάτων μετά την κατεργασία τους και πριν την σύνδεση μεταξύ τους. Μπορεί ακόμη να οφείλεται στην χρήση του ίδιου υλικού με τον με τον ίδιο συντελεστή θερμικής διαστολής. Έτσι έγινε η επιλογή χρήση διαφορετικού υλικού, τον χάλυβα (Η κεφαλή του extruder (ακροφύσιο)).



Εικόνα 81: Ο κύλινδρος συμπίεσης και τήξης του υλικού με το αλλοιωμένο σπείρωμα.

Ζημιά προκλήθηκε ακόμη και στο εξωτερικό τμήμα του ακροφυσίου καθώς ήταν δύσκολο το ξεβίδωμα του (φυσικά δεν τίθεται θέμα για ξεβίδωμα με το χέρι διότι για να καθαριστεί ο extruder πρέπει πρώτα να έχει ζεσταθεί, ώστε να λιώσει το υλικό στο εσωτερικό του) για κάποιο από τους παραπάνω λόγους και απαιτήθηκε η χρήση “κάβουρα” (Εικόνα 82). Για την αποφυγή της τυχόν ζημιάς στο εξωτερικό τμήμα του ακροφυσίου από κάποιο εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί στο μέλλον έγινε και η κατεργασία του που αναφέρεται παραπάνω (Η κεφαλή του extruder (ακροφύσιο)).



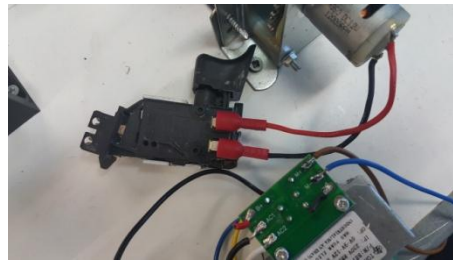
Εικόνα 82: Στην αριστερή εικόνα είναι εμφανής οι εκδορές στο εξωτερικό τμήμα του ακροφυσίου και στην αριστερή το αλλοιωμένο σπείρωμα.

Ένα όχι και τόσο σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε με ευκολία ήταν η κατασκευή βαριδιού για τον οδηγό του νήματος. Το αλουμινένιο βαρίδι που χρησιμοποιήθηκε αρχικά αποδείχτηκε ελαφρύ για να κρατήσει το γάντζο σε συνεχή επαφή με τον οδοντωτό τροχό με βάρος 45g. Έτσι κατασκευάστηκε δεύτερο βαρίδι διαστάσεων ίδιο με το πρώτο από χάλυβα βάρους 126g (Εικόνα 83). Επετεύχθη αύξηση βάρους 280%.



Εικόνα 83: Αριστερά το αλουμινένιο βαρίδι και δεξιά το σκουρόχρωμο χαλύβδινο βαρίδι.

Έγινε μία προσπάθεια ρύθμισης της ταχύτητας του μοτέρ του τυλιχτικού αυτόματα από το νήμα. Η κεντρική ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθεί γραμμικό ποτενσιόμετρο όπως αυτό στο χερούλι ενός τρυπανιού, με το νήμα όταν τεντώνεται να τραβάει το χερούλι προς τα πάνω και να επιβραδύνει το μοτέρ, ενώ όταν το νήμα πάει να χαλαρώσει να αυξάνεται η ταχύτητα του μοτέρ (Εικόνα 84).



Εικόνα 84: Το γραμμικό ποτενσιόμετρο από χερούλι τρυπανιού κατά στη δοκιμασία δοκιμής του.

Η δυσκολία εύρεσης τέτοιου ποτενσιόμετρου οδήγησε στην επιλογή περιστροφικού ποτενσιόμετρου (Καρούλι τυλίξεως νήματος).

Ένα από τα σχέδια που λήφθηκαν από το διαδίκτυο του οδοντωτού τροχού είχε ένα σημαντικό ελάττωμα. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα υπάρχει μία εσοχή στο τελείωμα του σπειρώματος που δεν επιτρέπει στον γάντζο να συνεχίσει την πορεία του προς την άλλη κατεύθυνση (Εικόνα 85).



Εικόνα 85: Ο οδοντωτός τροχός με την ανεπιθύμητη εσοχή στο τελείωμα του σπειρώματος.



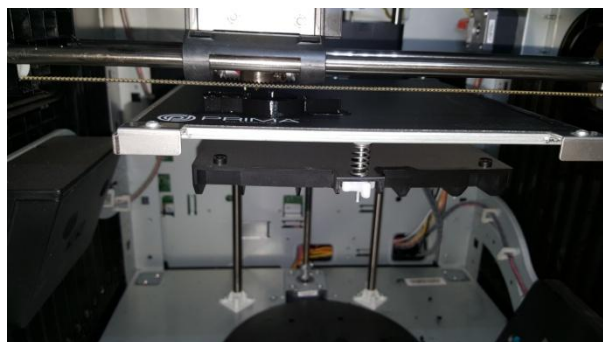
Για την διόρθωση του ελαττώματος αυτού κόπηκαν γωνιακά τμήματα από ένα δεύτερο οδοντωτό τροχό που εκτυπώθηκε για παν ενδεχόμενο και κολλήθηκαν στα κενά αυτά. Στη συνέχεια τρίφτηκαν με γυαλόχαρτο για να λειανθεί η επιφάνεια τους (Εικόνα 86).



Εικόνα 86: Ο οδοντωτός τροχός με διορθωμένη την ανεπιθύμητη εσοχή, καλυμμένος με γράσο.

Δύσκολος ήταν ακόμη και ο καθαρισμός ολόκληρου του οδοντωτού τροχού για να δημιουργηθεί μια λεία επιφάνεια διότι ο τρισδιάστατος εκτυπωτής του εργαστηρίου δεν είναι μεγάλης ακρίβειας και η εκτυπωμένη επιφάνεια δεν ήταν καλής ποιότητας. Χρησιμοποιήθηκε ακόμη γράσο για την μείωση της τριβής μεταξύ του οδοντωτού τροχού και του γάντζου.

Καθυστέρηση στην ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας πρόσθεσε και η ανεπιτυχής τύπωση ορισμένων κομματιών. Σε αυτή την περίπτωση τα κατεστραμμένα κομμάτια έπρεπε να πεταχτούν και να ξανατυπωθούν από την αρχή (Εικόνα 87).

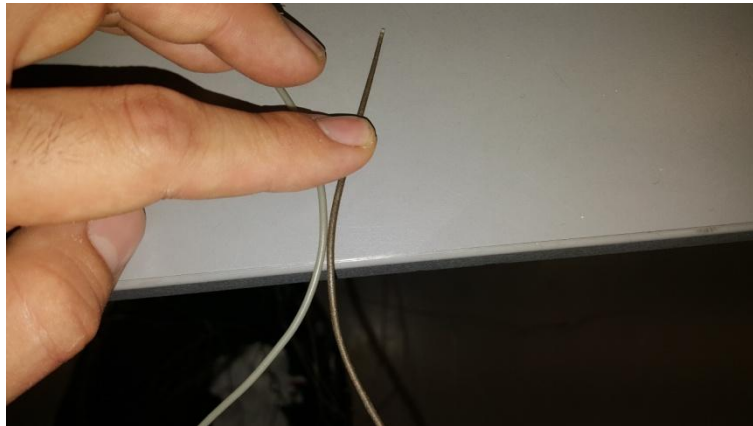


Εικόνα 87: Τύπωση του οδηγού του filament στον τρισδιάστατο εκτυπωτή του εργαστηρίου.

Μετά την κατασκευή των ράουλων και τη δοκιμή τους διαπιστώθηκε πως δεν εξυπηρετούσαν κάποιο σημαντικό σκοπό, καθώς το νήμα μικρότερης διατομής περνούσε από μέσα εύκολα ενώ το νήμα μεγαλύτερης διατομής κολλούσε και έκοβε. Έτσι τα ράουλα δεν ξαναχρησιμοποιήθηκαν σε επόμενες δοκιμές (Εικόνα 67).



Ένα τελευταίο πρόβλημα που εμφανίστηκε στην τελική δοκιμή του extruder ήταν η κακή ποιότητα νήματος αλλά και το σκούρο χρώμα του. Ξεπεράστηκε όμως όσο περνούσε ο χρόνος και παραγόταν περισσότερο νήμα. Το πιθανότερο αίτιο του προβλήματος ίσως ήταν ότι χρειαζόταν περισσότερος καθαρισμός στο χωνί για την απομάκρυνση της βρωμιάς που τυχόν υπήρχε μέσα (Εικόνα 88).



Εικόνα 88: Σύγκριση του πρώτου παραγόμενου νήματος και ενός κομματιού από το τελευταίο.

7.2 Μελλοντικές προτάσεις για τη βελτιστοποίηση της κατασκευής.

Για την περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας νήματος και μείωση του χρόνου παραγωγής οι μελλοντικές προτάσεις είναι οι εξής:

Η συνολική διάταξη να έχει κάθετη τοποθέτηση καθώς παρατηρούνται τα εξής πλεονεκτήματα ενός κάθετου extruder έναντι ενός οριζόντιου (Εικόνα 89):

- Ευκολότερη ευθυγράμμιση μεταξύ του κοχλία πλήρωσης υλικού με τα υπόλοιπα εξαρτήματα.
- Υψηλότερο ποσοστό παραγωγής
- Απαιτεί λιγότερο χώρο στο πάτωμα από έναν οριζόντιο extruder.
- Ομοιόμορφη τήξη του υλικού λόγω της ομοιόμορφης πλήρωσης του στον κύλινδρο.



Εικόνα 89: Ο κάθετος extrudertου Hugh Lyman με ονομασία V6.



Να χρησιμοποιηθεί πλανητικός μειωτήρας (Εικόνα 90) για τη μετάδοση της κίνησης διότι:

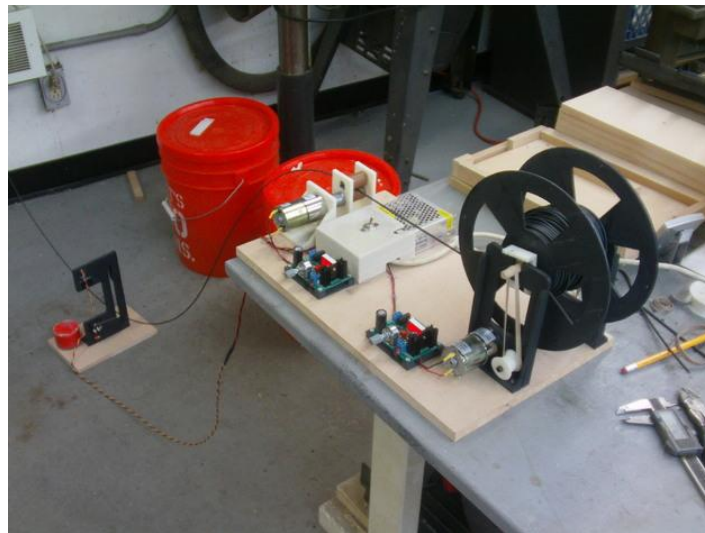
- Ομοιόμορφη μετάδοση: Η μεγαλύτερη ταχύτητα ακτινικού και αξονικού φορτίου προσφέρει αξιοπιστία και ανθεκτικότητα, ελαχιστοποιώντας την κακή ευθυγράμμιση του μηχανισμού. Επιπλέον, παρέχεται η ομοιόμορφη μετάδοση και οι χαμηλοί κραδασμοί σε διαφορετικά φορτία
- Τέλεια ακρίβεια: Η περισσότερη περιστροφική γωνιακή σταθερότητα βελτιώνει την ακρίβεια και την αξιοπιστία της κίνησης.
- Χαμηλότερη στάθμη θορύβου, επειδή υπάρχει μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής. Η κύλιση είναι πολύ πιο ήπια και οι αναπηδήσεις είναι σχεδόν ανύπαρκτες.
- Μεγαλύτερη ανθεκτικότητα: Λόγω της στρεπτικής ακαμψίας και της καλύτερης κύλισης. Για τη βελτίωση αυτού του χαρακτηριστικού, τα έδρανα επίσης συμβάλλουν στη μείωση των απωλειών που προκύπτουν από την επαφή του άξονα απευθείας με κάποια άλλη επιφάνεια. Έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση του μηχανισμού και πολύ πιο ομαλή λειτουργία.
- Πολύ καλά επίπεδα απόδοσης: Οι πλανητικοί μειωτήρες προσφέρουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα χάρη στο σχεδιασμό και την εσωτερική τους διάταξη. Οι απώλειες ελαχιστοποιούνται κατά τη διάρκεια της εργασίας τους. .
- Αυξημένη μετάδοση ροπής: Με περισσότερα δόντια σε επαφή, ο μηχανισμός μπορεί να μεταδώσει και να αντέξει ακόμη μεγαλύτερη ροπή. Επιπλέον, αυτό επιτυγχάνεται με πιο ομοιόμορφο τρόπο.



Εικόνα 90: Πλανητικός μειωτήρας 313 RPM.



Βελτίωση ακόμα επιδέχεται και το τυλιχτικό σύμπλεγμα με την προσθήκη αισθητήρων ελέγχου γραμμικής μετατόπισης και εντοπισμού θέσης για την αυτοματοποίηση του (75). Προτείνεται ακόμη η σύνδεση των αισθητήρων με το τραβηχτικό αλλά και το τυλιχτικό, ώστε να δυο να λειτουργούν μαζί αυτόματα χωρίς να χρειάζεται η επέμβαση κάποιου χειριστή. Μία τέτοια κατασκευή απεικονίζεται παρακάτω από τον Hugh Lyman (Εικόνα 91). Οι αισθητήρες δηλαδή διαβάζουν τη θέση του νήματος και στέλνουν σήμα σε μία κεντρική μονάδα ελέγχου, η οποία στη συνέχεια ρυθμίζει την ταχύτητα έλξης του τραβηχτικού και τις στροφές του τυλιχτικού καθώς τα δυο πρέπει να λειτουργούν με την ίδια ταχύτητα.



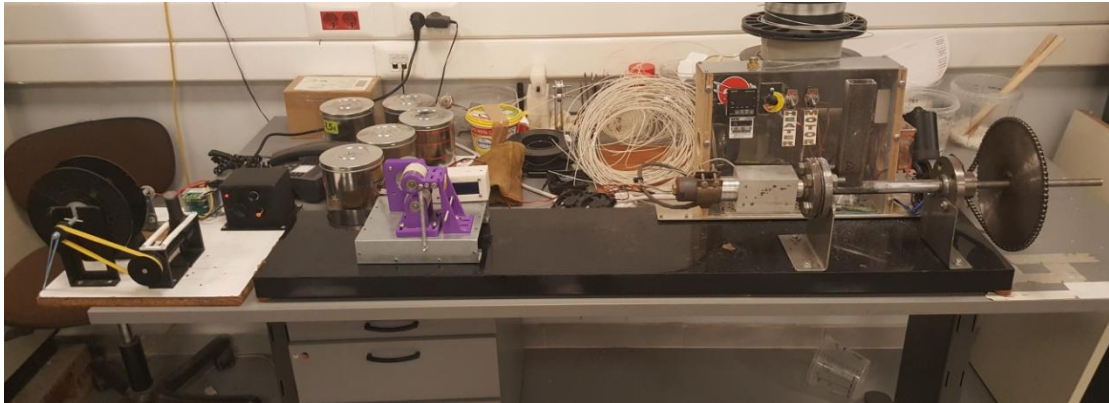
Εικόνα 91: Το τυλιχτικό σύμπλεγμα του Hugh Lyman με ονομασία Spool Winder V3.

Το τυλιχτικό έχει λίγο πιο περίπλοκη λειτουργία και αναφέρεται παραπάνω (Καρούλι τυλίξεως νήματος).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο αναφέρονται τα αποτελέσματα με την κατασκευή της νέας μηχανής εξώθησης (Εικόνα 92) και οι οδηγίες χρήσης της.



Εικόνα 92: Η ολοκληρωμένη διάταξη της νέας μηχανής εξώθησης.

8.1 Συμπεράσματα

Η διάμετρος του νήματος αλλά και η ποιότητα επιφάνειας έχουν υποστεί σημαντική βελτίωση σε σύγκριση με το προηγούμενο παραγόμενο νήμα. Οι τελευταίες μετρήσεις δείχνουν μικρή απόκλιση στη διατομή του νήματος κατά μήκος του και το καθιστούν ικανό να χρησιμοποιηθεί από τον εργαστηριακό τρισδιάστατο εκτυπωτή (Εικόνα 93).



Εικόνα 93: Μέτρηση της διατομής του παραγόμενου νήματος.

Παρατηρήθηκε ωστόσο δυσκολία χειρισμού όλων των μηχανών από ένα άτομο. Έτσι η προαναφερθείσα αυτοματοποίηση και σύνδεση του τραβηχτικού με το τυλιχτικό θεωρείται απαραίτητη. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ακριβώς αυτό η λειτουργία του extruder για την παραγωγή νήματος σε συνεργασία μόνο με το τραβηχτικό (Εικόνα 94). Καθώς είναι αδύνατος ο χειρισμός τριών μηχανών ταυτόχρονα αλλά και την παραγωγή ιδανικής διατομής για τη χρήση του από τον εκτυπωτή νήματος.



Εικόνα 94: Η λειτουργία του extruder και του τραβηχτικού κατά τη διαδικασία παραγωγής νήματος.

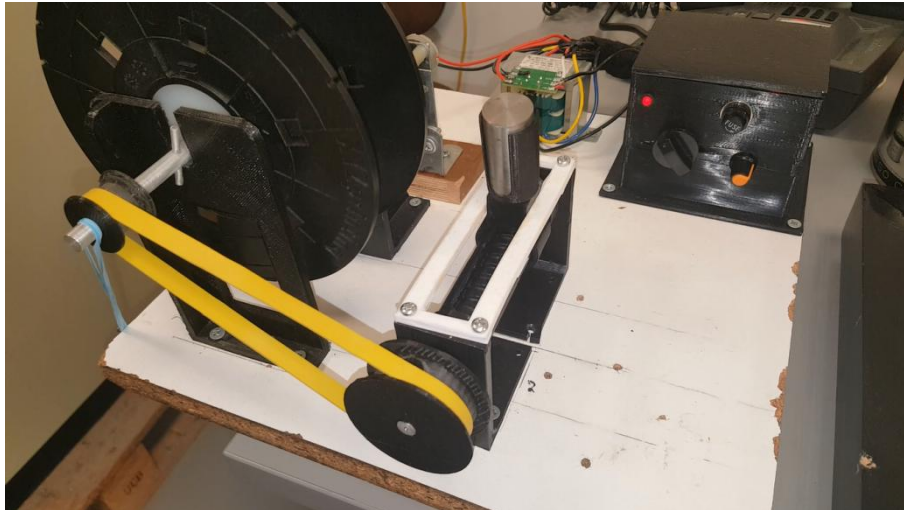
Έτσι το τυλιχτικό χρησιμοποιήθηκε για την περιέλιξη νήματος που είχε παραχθεί από προηγούμενη παραγωγή. Η περιέλιξη όμως νήματος το οποίο είχε κρυώσει και είχε σκληρύνει έχοντας πάρει το σχήμα της κουλούρας ήταν αδύνατη, καθώς το νήμα τυλιγόταν, όχι όμως ομοιόμορφα.

8.2 Οδηγίες Χρήσης

Οι οδηγίες χρήσης δεν διαφέρουν από εκείνες της προηγούμενης πτυχιακής διότι δεν αλλάχθηκε ο πίνακας ελέγχου του extruder και η αρχή λειτουργίας του παραμένει η ίδια.

Πρέπει να αναφερθεί ωστόσο η λειτουργία του τραβηχτικού, η οποία είναι απλή, με 1 διακόπτη on/off και με δυο κουμπιά + και – για τη ρύθμιση της ταχύτητας του.

Το τυλιχτικό έχει εξίσου απλή λειτουργία με έναν διακόπτη τριών θέσεων μία θέση για τις μισές στροφές, η θέση για όλες τις στροφές και μια θέση off. Για τη ρύθμιση των στροφών σημαντικό είναι το ποτενσιόμετρο το οποίο ρυθμίζει τις στροφές από το 0% έως και το 100% και για τις δυο σκάλες του διακόπτη τριών θέσεων. Στην παρακάτω Εικόνα 95 είναι ευδιάκριτη ακόμα η λυχνία με το κόκκινο φως όπου σηματοδοτεί πως το κύκλωμα μας διαρρέεται από ρεύμα.



Εικόνα 95: Συναρμολογημένο και σε λειτουργία το τυλιχτικό σύμπλεγμα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. Βιβλιογραφία

1. <https://www.autodesk.com/redshift/history-of-3d-printing/>
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering
3. <https://www.idc.com>
4. <https://www.plasticsinsight.com>
5. <https://www.statista.com>
6. <https://www.thingiverse.com>
7. <https://www.sukoptfe.com/extrusion-working-principle-and-process-parameters>
8. <http://technicaldrawing.mouroutsos.net>
9. <https://www.materials.uoc.gr>
10. <http://2epal-chanion.chan.sch.gr/autosch/joomla15/images/PDF/presentations-of-machine-elements/Koxlies.pdf>
11. <http://www.mech.upatras.gr/~papado/CAMD/8.Pres.pdf>
12. http://www.mech.upatras.gr/~papado/CAMD/11.Springs_add.pdf
13. https://elearning.teicm.gr/file.php/318/2015/ergasia_melkos_aishtires.pdf
14. <http://www.clextral.com>
15. <https://www.creativemechanisms.com>
16. <http://3dprintingforbeginners.com>
17. <http://www2.ucy.ac.cy/~fotis/phy111/Lectures/lecture13.pdf>
18. <http://users.auth.gr/paloura/%CE%A6%CE%91%CE%A1%CE%9C%CE%91%CE%9A%CE%95%CE%A5%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%9F%20%CE%A6%CE%A5%CE%A3%CE%99%CE%9A%CE%97%202013-14/%CE%A1%CE%95%CE%A5%CE%A3%CE%A4%CE%91%20%CE%9C%CE%95%CE%A1%CE%9F%CE%A3%202013.pdf>
19. https://www.youtube.com/watch?v=p_E7crY9wfg&t=167s
20. https://www.youtube.com/watch?v=Zf_2RJqduoo
21. <https://www.youtube.com/watch?v=H6h1yDzoPMU&t=1s>
22. www.youtube.com



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βελτιστοποίηση μηχανής extruder
εξώθησης Α.Β.Σ. πλαστικού

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

Μαγουλάκης Κωνσταντίνος

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ

Δρ. Πετούσης Μάρκος
Δρ. Βιδάκης Νεκτάριος