



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

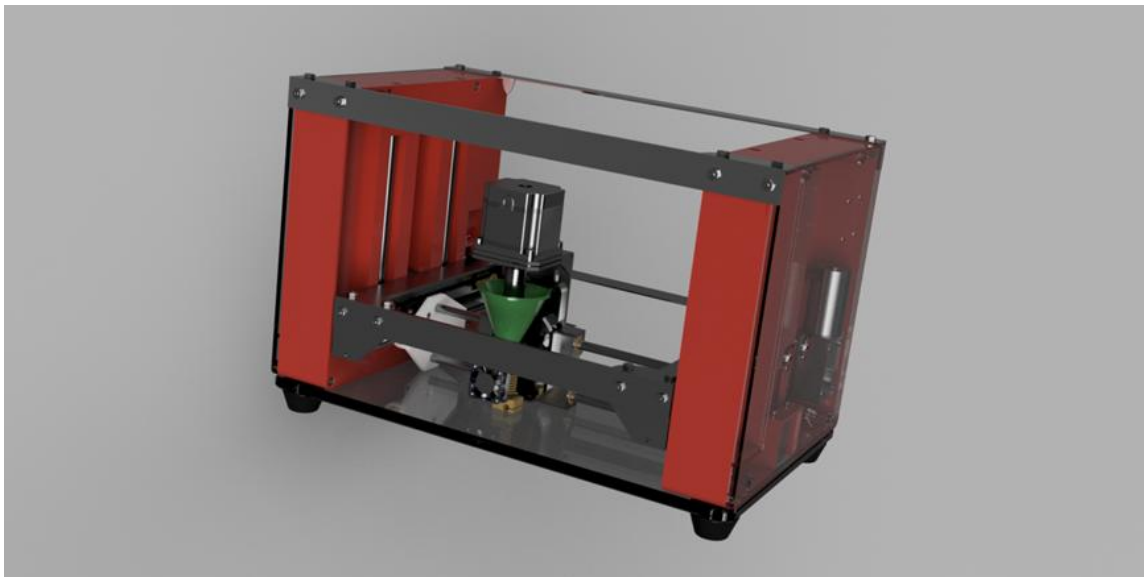
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ ΜΕ
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΜΟΡΦΗ MASTERBATCH**

ΒΟΥΛΓΑΡΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, Α.Μ. 5872

Επιβλέποντες:

Δρ. Πετούσης Μάρκος



Ηράκλειο 2019

Ευχαριστίες

Θα θελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Δρ. Μάρκο Πετούση κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας καθώς ήταν παρόν οπότε χρειάστηκε. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του, για την επίλυση διάφορων θεμάτων.

Θα θελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, τους φίλους μου και την σύντροφο μου για την έμπρακτη στήριξη τους.

Περίληψη

Στη παρούσα πτυχιακή έγινε μια σχεδιομελέτη ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή με τροφοδοσία υλικού σε μορφή masterbatch.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή με αναφορές στη τρισδιάστατη εκτύπωση, την εξέλιξη της και τις εφαρμογές τις σε διάφορους τομείς.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτικότερη προσέγγιση για το τι είναι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, που εφαρμόζονται και σε τι χρησιμεύουν. Επίσης γίνεται παρουσίαση των extruder στους τρισδιάστατους εκτυπωτές, των υλικών που χρησιμοποιούνται στη τρισδιάστατη εκτύπωση καθώς και παρουσίαση των τρισδιάστατων εκτυπωτών με χρήση masterbatch που κυκλοφορούν ήδη στην αγορά.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν στη σχεδιομελέτη.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρισδιάστατος εκτυπωτής που σχεδιάστηκε στην παρούσα σχεδιομελέτη, όπως επίσης τα προβλήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της σχεδιομελέτης και το εκτιμώμενο κόστος του εκτυπωτή σε μελλοντική κατασκευή.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν μετά το πέρας της υλοποίησης της σχεδιομελέτης όπως επίσης και προτάσεις για μελλοντική βελτίωση του 3D τυπωτή που σχεδιάστηκε.

Abstract

Subject of this thesis is the design of a three-dimensional printer with material supply in masterbatch format.

In the first chapter, an introduction is made with references to 3D printing, its evolution and applications in various fields.

The second chapter provides a more detailed approach for 3D printers, their use and the applications for 3D printing. Also, extruders are presented as well as the materials used in 3D printing and the existing models of 3D printers using masterbatch material.

The third chapter presents the programs used during the design.

In fourth chapter, the 3D printer that designed in the current thesis is presented, as well as the problems encountered during the design implementation and the estimated cost of the printer in future construction.

Finally, are mentioned the conclusions of this thesis and suggestions for future improvement of the designed 3D printer.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	9
1.1. Εισαγωγή.....	9
1.2. Η εξέλιξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	9
1.3. Μετάβαση από τις δύο, στις τρεις διαστάσεις (θεώρημα Fubini).....	11
1.4. Μέθοδοι εκτύπωσης.....	11
1.4.1. Τεχνική Selective Laser Sintering (SLS).....	12
1.4.2. Τεχνική Laminated Object Manufacturing (LOM)	12
1.4.3. Τεχνική Fused Deposition Modeling (FDM)	13
1.5. Εφαρμογές των τρισδιάστατων εκτυπωτών.....	14
1.6. Εφαρμογές στην βιοϊατρική.....	15
1.7. Πως λειτουργούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές	18
1.8. Οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές επιπτώσεις.....	21
1.9. Μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης	23
1.9.1. Στερεολιθογραφία	23
1.9.2. Εκτύπωση με τροφοδοσία υλικού σε μορφή νήματος	24
1.9.3. Μέθοδοι LS και LM	25
1.9.4. Inkjet 3D εκτυπωτές.....	26
1.9.5. Direct material jetting	27
1.10. Τα Πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των τρισδιάστατων εκτυπωτών	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΕΚΤΥΠΩΤΕΣ ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ 31	
2.1. Τι είναι τρισδιάστατος εκτυπωτής.....	31
2.2. Γενικά για τις τρισδιάστατες εκτυπώσεις.....	31
2.3. Αρχές τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	32
2.4. Εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης	33
2.5. Τρισδιάστατοι εκτυπωτές χαμηλού κόστους	34
2.6. Τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	38
2.7. Παρουσίαση και χρήση των extruder στους τρισδιάστατους εκτυπωτές	38
2.7.1. Ψυχρό άκρο extruder.....	40
2.7.2. Θερμό άκρο extruder	40
2.8. Παρουσίαση υλικών στη τρισδιάστατη εκτύπωση.....	43
2.8.1. Υλικό ABS	44
2.8.2. Επιπλέον υλικά.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗΣ	51

3.1. Το λογισμικό Creo	51
3.2. Το λογισμικό Fusion 360.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ	
ΑΝΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΥΣΚΟΛΙΩΝ ΠΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΤΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ	
ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΤΗΣ	55
4.1. Υπάρχοντα μοντέλα 3D εκτυπωτών με χρήση masterbatch.....	55
4.1.1. Universal Extruder Pellet.....	55
4.1.2. Direct3D pellet exdruder	56
4.2. Παρουσίαση του μοντέλου της σχεδιομελέτης και σύγκριση με τα υπάρχοντα	
μοντέλα	57
4.3. Εξωθητήρας (extruder).....	59
4.3.1. Εξαρτήματα του extruder	60
4.3.2. Κινητήρας extruder	66
4.3.3. Αρχή λειτουργίας του extruder.....	67
4.4. Το αρχικό σχέδιο	68
4.5. Τροποποίηση στους άξονες Z.....	69
4.6. Το τελικό σχέδιο	70
4.7. Επιμέρους εξαρτήματα και συνδεσμολογίες του εκτυπωτή.....	72
4.8. Προβλήματα και κρίσιμα σημεία στον σχεδιασμό	82
4.9. Υλικά τα οποία επιλέχτηκαν για τη κατασκευή του εκτυπωτή	83
4.10. Εκτιμώμενο κόστος εκτυπωτή.....	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86
5.1. Συμπεράσματα που προέκυψαν από την σχεδιομελέτη	86
5.2. Προτάσεις για μελλοντική βελτιστοποίηση του εκτυπωτή	86
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1.1. Τεχνική Selective Laser Sintering	12
Εικόνα 1.2. Τεχνική Laminated Object Manufacturing	13
Εικόνα 1.3. Τεχνική Fused Deposition Modeling.....	13
Εικόνα 1.4. Τρισδιάστατη αναπαραγωγή - εκτύπωση ζωτικών οργάνων.....	16
Εικόνα 1.5. Τρισδιάστατη εκτύπωση με βιολογικό μελάνι	16
Εικόνα 1.6. Διαδικασία Στερεολιθογραφίας.....	24
Εικόνα 1.7. Μέθοδος νήματος	25
Εικόνα 1.8. Μέθοδοι LS και LM	26
Εικόνα 1.9. Μέθοδος με inkjet 3D εκτυπωτές	27
Εικόνα 1.10. Μέθοδος direct material jetting.....	28
Εικόνα 2.1. Καρδιά εκτυπωμένη σε τρισδιάστατο εκτυπωτή	33
Εικόνα 2.2. Εκτυπωτής Darwin. Ο πρώτος που κατασκευάστηκε το 2007.....	34
Εικόνα 2.3. Εκτυπωτής Mendel.....	35
Εικόνα 2.4. Εκτυπωτής Prusa Mendel.....	35
Εικόνα 2.5. Εκτυπωτής RepRapPro Mendel.....	36
Εικόνα 2.6. Εκτυπωτής RepRapPro Huxley	36
Εικόνα 2.7. Τρισδιάστατος εκτυπωτής Eventorbot.....	37
Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά Τρισδιάστατων Εκτυπωτών	37
Εικόνα 2.8. Στερεολιθογραφία	38
Εικόνα 2.9. Εικόνα extruder από την οικογένεια εκτυπωτών RepRap.....	39
Εικόνα 2.10. Απεικόνιση του ψυχρού και του θερμού άκρου	39
Εικόνα 2.11. Βηματικοί κινητήρες	40
Εικόνα 2.12. Απεικόνιση του θερμού άκρου ενός extruder	41
Εικόνα 2.13. Αναλυτική απεικόνιση των μερών του θερμού άκρου.....	42
Εικόνα 2.14. Κεφαλή 3D εκτυπωτή με ακροφύσιο από ορείχαλκο	42
Πίνακας 2.2. Σύγκριση υλικών αναφορικά με την αντοχή τους στον εφελκυσμό	43
Εικόνα 2.15. Το υλικό ABS σε μορφή νήματος	45
Εικόνα 2.16. Το υλικό ABS σε μορφή pellet.....	45
Εικόνα 3.1. Εικόνα από το περιβάλλον του λογισμικού Creo parametric 2.0	51
Εικόνα 3.2. Το περιβάλλον του λογισμικού Fusion 360 όπου απεικονίζεται ένα μηχανολογικό εξάρτημα.....	53
Εικόνα 3.3. Σχέδιο εκκεντροφόρου άξονα στο λογισμικό Fusion 360.....	54
Εικόνα 4.1. Παρουσίαση Universal Extruder Pellet.....	55
Εικόνα 4.2. Direct3D pellet extruder	56

Εικόνα 4.3. Ο Direct3D pellet extruder σε λειτουργία.....	57
Εικόνα 4.4. Σχέδιο extruder σε τομή.....	59
Εικόνα 4.5. Ο extruder σε πλήρη μορφή	60
Εικόνα 4.6. Ο extruder σε πλήρη μορφή, σε πλάγια όψη.....	60
Εικόνα 4.7. Extruder χωρίς το δοχείο	61
Εικόνα 4.8. Η βάση στήριξης, ο αντάπτορας, ο κινητήρας και ο άξονας του extruder	61
Εικόνα 4.9. Βηματικός κινητήρας του extruder.....	62
Εικόνα 4.10. Βάση στήριξης του extruder	62
Εικόνα 4.11. Συνδετικό έλασμα που συγκρατεί το θερμό άκρο στη βάση στήριξης..	63
Εικόνα 4.12. Βάση στήριξης του κινητήρα	63
Εικόνα 4.13. Αντάπτορας που συνδέει τον άξονα του κινητήρα με τον άξονα που σπρώχνει το υλικό.....	64
Εικόνα 4.14. Άξονας οπού ωθεί το υλικό στο θερμό άκρο	64
Εικόνα 4.15. Δοχείο υποδοχής υλικού (χωνί)	65
Εικόνα 4.16. Ανεμιστηράκι extruder.....	65
Εικόνα 4.17. Κεφαλή και αντίσταση του extruder.....	66
Εικόνα 4.18. Ο κινητήρας του extruder.....	66
Εικόνα 4.19. Ο ανεμιστήρας και η θέση στην οποία βρίσκεται	67
Εικόνα 4.20. Μορφή του αρχικού σχεδίου χωρίς επιφάνεια εκτύπωσης	68
Εικόνα 4.21. Μορφή του σχεδίου χωρίς επιφάνεια εκτύπωσης κατά τη διάρκεια της σχεδίασης	69
Εικόνα 4.22. Άξονες Z χωρίς στήριξη στο άνω μέρος.....	69
Εικόνα 4.23. Άξονες με προσθήκη στήριξης	70
Εικόνα 4.24. Γυάλινη επιφάνεια εκτύπωσης	70
Εικόνα 4.25. Γυάλινη επιφάνεια εκτύπωσης με αντιολισθητικούς αποστάτες.....	71
Εικόνα 4.26. Τελική μορφή του σχεδίου με την προσθήκη της επιφάνειας εκτύπωσης	71
Εικόνα 4.27. Τελική μορφή του σχεδίου με την προσθήκη της επιφάνειας εκτύπωσης	72
Εικόνα 4.28. Πλαϊνό καπάκι του εκτυπωτή	72
Εικόνα 4.29. Διαφανές πλαϊνό	73
Εικόνα 4.30. Επιφάνεια εκτύπωσης.....	73
Εικόνα 4.31. Ελάσματα που ενώνουν το δεξί με το αριστερό μέρος του εκτυπωτή ..	74
Εικόνα 4.32. Κάθετοι άξονες για την κίνηση στον άξονα των Z.....	74
Εικόνα 4.33. Κάθετοι άξονες με τους κινητήρες	75
Εικόνα 4.34. Άξονες για την κίνηση στον άξονα των X	75

Εικόνα 4.35. Βάση στην οποία συνδέεται η βάση του extruder.....	76
Εικόνα 4.36. Κίνηση στον άξονα των X	76
Εικόνα 4.37. Κίνηση στον άξονα των Y	76
Εικόνα 4.38. Κίνηση στον άξονα των Y	77
Εικόνα 4.39. Τεντοτήρες και ρουλεμάν	77
Εικόνα 4.40. Πλαϊνή βάση στήριξης.....	78
Εικόνα 4.41. Κίνηση στον άξονα των Y	78
Εικόνα 4.42. Άξονες για την κίνηση κατά τον άξονα των Y	79
Εικόνα 4.43. Χρήση βάσεων και κίνηση στον άξονα των X.....	79
Εικόνα 4.44. Μεσαίο τμήμα του εκτυπωτή	80
Εικόνα 4.45. Κάτω ελάσματα που ενώνουν το δεξί με το αριστερό μέρος του εκτυπωτή.....	80
Εικόνα 4.46. Βηματικοί κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στον εκτυπωτή	81
Εικόνα 4.47. Θερμαινόμενο μοτέρ	81
Εικόνα 4.48. Σασί του εκτυπωτή.....	82
Εικόνα 4.49. Γυάλινο πλαίσιο εκτυπωτή	84
Πίνακας 4.1. Εκτιμώμενο κόστος εκτυπωτή.....	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. Εισαγωγή

Το να μετατραπεί μια ιδέα σε σχέδιο και κατόπιν σε αντικείμενο είναι μια σύνθετη διαδικασία που αποτελεί αυτό που ονομάζεται παραγωγή.

Για να μεταβεί κανείς από τον ιδεατό κόσμο του σχεδίου στον φυσικό κόσμο των αντικειμένων, παλαιότερα απαιτούνταν εργάτες και τεχνίτες οι οποίοι συνδυάζοντας τις γνώσεις, την πείρα και τις δεξιότητές τους και χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εργαλεία κατάφερναν να δώσουν μορφή και υλική υπόσταση στο σχέδιο. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, αυτοματοποιημένα συστήματα που βασίζονται στην ρομποτική τεχνολογία, αναλαμβάνουν όλο και περισσότερο την μεσολάβηση αυτή σε πολλούς τομείς της παραγωγής.

Η κατασκευή τρισδιάστατων εκτυπωτών αποτελεί ένα νέο στάδιο στην εξέλιξη της αυτοματοποίησης. Με τους τρισδιάστατους εκτυπωτές έχουμε απευθείας μετάβαση από το ψηφιακό μοντέλο ή σχέδιο, στο φυσικό αντικείμενο τριών διαστάσεων. Αυτοί οι εκτυπωτές χρησιμοποιούν ψηφιακά αρχεία που έχουν δημιουργηθεί/σχεδιαστεί από κάποιον μηχανικό ή έχουν προκύψει από ένα φυσικό αντικείμενο το οποίο έχει σαρωθεί και “τυπώνουν” έτσι το αντικείμενο σε τρεις διαστάσεις.

1.2. Η εξέλιξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης

Η ιδέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να θεωρηθεί ότι ξεκίνησε το 1976, όταν δημιουργήθηκε ο πρώτος inkjet εκτυπωτής. Ο πρώτος τρισδιάστατος εκτυπωτής κατασκευάστηκε το 1984 από τον Charles Hull της “3D Systems”. Ο Charles Hull ήταν ο εφευρέτης της στερεολιθογραφίας (stereolithography). Η στερεολιθογραφία είναι μια διαδικασία εκτύπωσης κατά την οποία μπορούν να εκτυπωθούν τρισδιάστατα αντικείμενα από ψηφιακά δεδομένα.

Την δεκαετία του '90 και συγκεκριμένα το 1992 η πρώτη στερεολιθογραφική μηχανή παράγεται από την 3D Systems. Πρόκειται για μια μηχανή που αποτελείται από ένα UV laser που στερεοποιεί το πολυμερές και κατασκευάζεται έτσι μια πολύπλοκη δομή με στρώσεις διαδοχικών στρωμάτων. Αργότερα, το 1999 δημιουργείται το

πρώτο όργανο που είναι καλλιεργημένο σε εργαστήριο. Ασθενείς νέοι σε ηλικία, υποβάλλονται σε αύξηση της ουροδόχου κύστης με χρήση ενός ικρίωματος που έχει εκτυπωθεί τρισδιάστατα και έχει επικαλυφθεί από δικά τους κύτταρα. Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε από επιστήμονες στο Wake Forest Institute για την αναγεννητική ιατρική και άνοιξε δρόμους για την ανάπτυξη άλλων στρατηγικών για την τρισδιάστατη εκτύπωση οργάνων. Δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται τα κύτταρα του ασθενή, ο κίνδυνος της απόρριψης από τον οργανισμό, είναι ελάχιστος έως μηδενικός.

Έπειτα, το 2002 κατασκευάστηκε ένα λειτουργικό νεφρό. Το νεφρό αυτό είχε την ικανότητα να φιλτράρει το αίμα και να παράγει αραιωμένα ούρα σε ζώο. Αυτή η εφεύρεση συνετέλεσε στην διεξαγωγή ερευνών στο Wake Forest Institute για την εκτύπωση οργάνων και ιστών.

Μετά από δέκα χρόνια και συγκεκριμένα το 2012 πραγματοποιείται η πρώτη εμφύτευση τρισδιάστατης τυπωμένης κάτω σιαγόνας σε μία ηλικιωμένη κυρία που πάσχει από χρόνια λοίμωξη των οστών.

Παρακάτω αναφέρονται κάποια εξίσου σημαντικά γεγονότα στην εξέλιξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Το 2005 ο Dr. Andrian Bowyer πήρε την πρωτοβουλία για μια συνεργασία για την κατασκευή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή ο οποίος θα μπορεί να εκτυπώνει τα περισσότερα από τα εξαρτήματα του ίδιου του εκτυπωτή.

Το 2008 εκτυπώθηκε ένα ανθρώπινο προσθετικό μέλος και συγκεκριμένα ένα πόδι, το οποίο είχε όλα τα μέρη εκτυπωμένα χωρίς να απαιτείται η συναρμολόγησή τους.

Το 2009 βγαίνουν για πρώτη φορά προς πώληση οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές από την εταιρία Maker Bot Industries.

Έπειτα, το 2011 δημιουργήθηκε το πρώτο παγκοσμίως τρισδιάστατα τυπωμένο αυτοκίνητο. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να έχει υψηλή απόδοση καυσίμου και είναι οικονομικό. Επίσης το 2011 κατασκευάστηκε και το πρώτο τρισδιάστατα εκτυπωμένο ρομποτικό αεροπλανάκι.

1.3. Μετάβαση από τις δύο, στις τρεις διαστάσεις (θεώρημα Fubini)

Για την μετάβαση από την συνηθισμένη δισδιάστατη εκτύπωση στην τρισδιάστατη, και για την δημιουργία εκτυπωτών που θα τυπώνουν σε τρεις διαστάσεις χρειάστηκε να χρησιμοποιηθεί κάποιο μαθηματικό υπόβαθρο στο οποίο θα στηριζόταν η λειτουργία τους.

Το θεώρημα Fubini είναι αυτό, πάνω στο οποίο βασίζεται το λειτουργικό σύστημα των 3D εκτυπωτών.

Στην μαθηματική ανάλυση, το θεώρημα αυτό εισήχθη από τον Guido Fubini το 1907 και μας δίνει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες είναι δυνατόν να υπολογιστεί ένα διπλό ολοκλήρωμα, χρησιμοποιώντας επαναληπτικά ολοκληρώματα. Με βάση αυτό το θεώρημα, κάθε αντικείμενο (n) διαστάσεων μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένα φάσμα επιπέδων ($n-1$) διαστάσεων.

1.4. Μέθοδοι εκτύπωσης

Η ονομασία των “τρειςδιάστατων εκτυπωτών” αντανακλά τις τεχνικές που χρησιμοποιούν, οι οποίες θυμίζουν σε μεγάλο βαθμό, τις τεχνικές που χρησιμοποιούν οι απλοί εκτυπωτές laser και inkjet. Οι τεχνικές παραγωγής που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα, διαφέρουν αρκετά από την τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

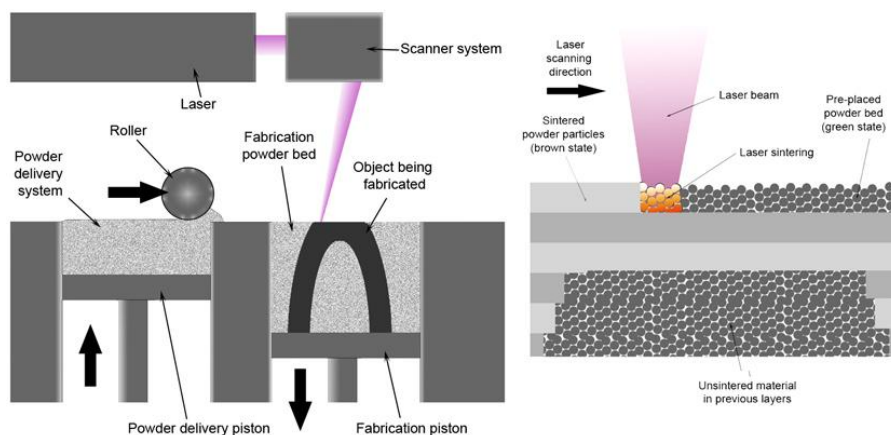
Για να κατασκευαστεί ένα αντικείμενο ως τώρα χρησιμοποιούνται μέθοδοι αφαίρεσης υλικού από χυτά, σφυρήλατα, ακατέργαστα τεμάχια, χρησιμοποιώντας τα απαραίτητα εργαλεία προκειμένου να πάρει το αντικείμενο την επιθυμητή μορφή. Αντίθετα με αυτήν μέθοδο, η τρισδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μια διαδικασία κατά την οποία υπάρχει πρόσθεση υλικού.

Η δημιουργία ενός αντικειμένου πραγματοποιείται με την διαδοχική συγκόλληση, την εναπόθεση ή με την στερεοποίηση λεπτών στρώσεων του υλικού, σύμφωνα με το σχέδιο ή την εικόνα που υπάρχει στον υπολογιστή. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες, τις οποίες χρησιμοποιούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, ανάλογα με τις απαιτήσεις των προς εκτύπωση προϊόντων. Οι τρεις πιο χρησιμοποιούμενες είναι η τεχνική Selective

Laser Sintering (SLS), η τεχνική Laminated Object Manufacturing (LOM) και η Τεχνική Fused Deposition Modeling (FDM).

1.4.1. Τεχνική Selective Laser Sintering (SLS)

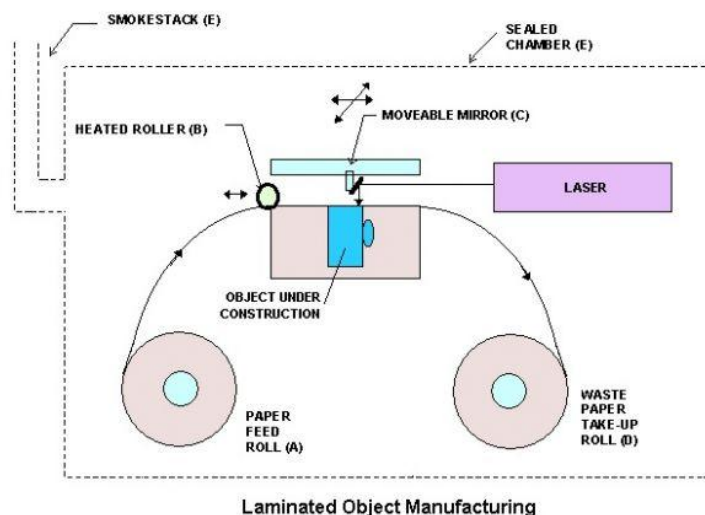
Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Texas (Εικόνα 1.1.) από τον Carl Deckard και κατοχυρώθηκε το 1989. Στην τεχνική αυτή, μια ακτίνα λέιζερ λιώνει και στερεοποιεί διάφορα υλικά τα οποία βρίσκονται σε μορφή σκόνης. Ένας κύλινδρος στρώνει μια ποσότητα σκόνης με το κατάλληλο πάχος πάνω σε μια επιφάνεια και μια κεφαλή λέιζερ διαγράφει το σχήμα της πρώτης διατομής λιώνοντας και στερεοποιώντας την σκόνη επιλεκτικά. Στην συνέχεια η επιφάνεια κατέρχεται κατά το πάχος της επόμενης διατομής, τοποθετείται εκ νέου σκόνη την οποία στρώνει ο κύλινδρος και η κεφαλή λέιζερ διαγράφει την επόμενη διατομή στερεοποιώντας την πάνω στην πρώτη. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να ολοκληρωθεί το αντικείμενο. Το περίσσευμα σκόνης χρησιμεύει ως υποστήριγμα του κατασκευαζόμενου αντικειμένου.



Εικόνα 1.1. Τεχνική Selective Laser Sintering

1.4.2. Τεχνική Laminated Object Manufacturing (LOM)

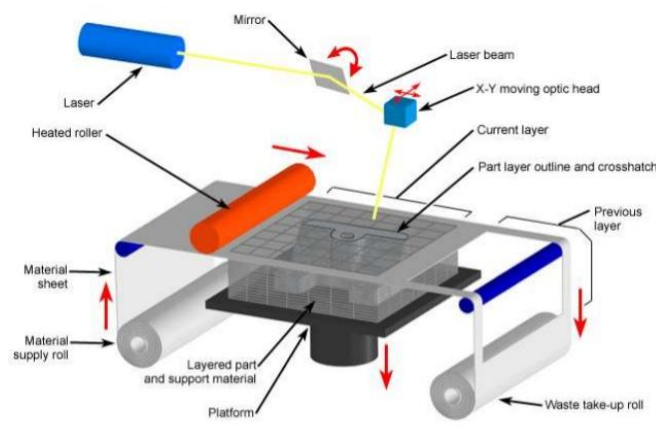
Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε από την εταιρία Helisys στην Αμερική. Βασίζεται στην κατασκευή αντικειμένων με την συγκόλληση λεπτών φύλλων υλικού που φέρουν επίστρωση θερμοκολλητικής ουσίας. Το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν χαρτί, ενώ αργότερα η εταιρία ανέπτυξε και χρησιμοποίησε και άλλα υλικά όπως αδιάβροχο χαρτί, πλαστικά, λεπτές ταινίες κεραμικών υλικών ή μετάλλων υπό μορφή σκόνης (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2. Τεχνική Laminated Object Manufacturing

1.4.3. Τεχνική Fused Deposition Modeling (FDM)

Σε αυτήν την τεχνική, ίνες θερμού πλαστικού υλικού εξέρχονται από μία κεφαλή η οποία κινείται στο επίπεδο (x,y). Η κεφαλή εναποθέτει λεπτές στρώσεις του πλαστικού πάνω σε μία βάση, διαγράφοντας την πρώτη διατομή. Η βάση βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία και έτσι το υλικό στερεοποιείται γρήγορα. Στην συνέχεια η βάση κατέρχεται και η κεφαλή εναποθέτει το δεύτερο στρώμα πάνω στο πρώτο. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι την ολοκλήρωση του αντικειμένου (Εικόνα 1.3).



Εικόνα 1.3. Τεχνική Fused Deposition Modeling

Στην τρισδιάστατη εκτύπωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού, κυρίως κεραμικά και πολυμερή. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες και εξοπλισμό προσθετικής κατασκευής, οι εν λόγω εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση. Είναι πολύ σημαντικό να τονίσουμε ότι έχουν

την δυνατότητα να εκτυπώνουν μέρη και εξαρτήματα από διάφορα υλικά, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και συχνά σε μια ενιαία διαδικασία κατασκευής.

1.5. Εφαρμογές των τρισδιάστατων εκτυπωτών

Εφαρμογές των τρισδιάστατων εκτυπωτών βρίσκονται στους περισσότερους τομείς της καθημερινότητας, όπως στα πολύτιμα μέταλλα, τα υποδήματα, τον βιομηχανικό σχεδιασμό, την αρχιτεκτονική, την μηχανική και τις κατασκευές (AEC), στην αυτοκινητοβιομηχανία, την αεροδιαστημική, την οδοντιατρική και ιατρική βιοτεχνολογία, την εκπαίδευση, τη χαρτογράφηση πληροφοριακών συστημάτων και πολλά άλλα.

Παρακάτω αναφέρονται κάποια παραδείγματα αντικειμένων που έχουν κατασκευαστεί από τρισδιάστατη εκτύπωση και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Σύμφωνα με την βρετανική αεροναυπηγική ομάδα της BAE Systems, ένα μαχητικό αεροσκάφος τύπου Tornado πέταξε για πρώτη φορά με μεταλλικά εξαρτήματα τυπωμένα σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Τα εξαρτήματα αυτά ήταν ένα προστατευτικό κάλυμμα για το πιλοτήριο, ένα τμήμα του συστήματος εισαγωγής αέρα και ένα μέρος στο σύστημα προσγείωσης.

Η NASA έχει εκτοξεύσει πύραυλο, του οποίου το ακροφύσιο του κινητήρα είχε τυπωθεί σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Σύμφωνα με την BAE Systems η χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών θα μπορούσε να επιτρέψει την εξοικονόμηση εκατοντάδων χιλιάδων λιρών κάθε χρόνο στον τομέα 16 της αεροναυπηγικής καθώς επίσης η τεχνολογία αυτή θα μπορούσε, να χρησιμοποιηθεί για να εξοπλίσει «πολεμικά πλοία και αεροπλανοφόρα».

Το πρώτο περίστροφο όπλο που εκτυπώθηκε τρισδιάστατα, δημιουργήθηκε από την ομάδα Defense Distributed, με επικεφαλής τον φοιτητή νομικής Cody Wilson. Ολόκληρο το όπλο είναι πλαστικό, έξτος από τον επικρουστήρα, ο οποίος είναι από μέταλλο. Πλέον τυπώνονται μεταλλικά όπλα, πενηνταπλάσιας δυναμικότητας σε σχέση με τα πλαστικά, απλοποιώντας έτσι την διαδικασία παραγωγής όπλων. Τα όπλα που τυπώνονται τρισδιάστατα έχουν την δυνατότητα να σκοτώσουν.

Και μία υπό μελέτη, μελλοντική εφαρμογή τους που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον:

Η κατασκευή μιας βάσης στη Σελήνη θα γινόταν πιο πολύ πιο εύκολη χρησιμοποιώντας έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή που χτίζει με ντόπια υλικά. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές κατασκευάζουν συμπαγή αντικείμενα από αλληπάλληλα στρώματα μιας ρευστής ουσίας που στερεοποιείται. Η τεχνολογία χρησιμοποιείται ήδη για την παραγωγή μικρών αντικειμένων, στο μέλλον όμως θα μπορούσε να επεκταθεί για την κατασκευή ολόκληρων κτηρίων. Η ESA ελπίζει να κατασκευάσει στο μέλλον μια βάση στη Σελήνη που θα αποτελείται από ένα τυπωμένο, στέρεο κέλυφος γύρω από ένα φουσκωτό, αεροστεγή χώρο διαβίωσης. Στο πλαίσιο της μελέτης, οι μηχανικοί του προγράμματος χρησιμοποίησαν έναν ογκώδη 3D εκτυπωτή για να κατασκευάσουν ένα συμπαγές μπλοκ βάρους 1,5 τόνου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το υπόστρωμα αποτελούνταν από ηφαιστειακό βράχο παρόμοιο με τα πετρώματα της σελήνης, ενώ ως κόλλα χρησιμοποιήθηκε ένα υλικό που συνδέει τους κόκκους του πετρώματος και το μετατρέπει σε συνθετικό βράχο.

1.6. Εφαρμογές στην βιοϊατρική

Ολοένα και μεγαλύτερη εφαρμογή βρίσκει η τεχνολογία των 3D εκτυπωτών σε τομείς της ιατρικής.

Ήδη γίνονται δοκιμές και εκτυπώνονται δομές χόνδρων για μεταμόσχευση σε αρθρώσεις, καρδιακές βαλβίδες και άλλα, με την χρήση συμβατών υλικών. Πέρα από την εκτύπωση δομικών οργάνων, όπως κόκκαλα, χόνδροι κ.α. συμβατών υλικών, έχει επιτευχθεί και η τρισδιάστατη αναπαραγωγή - εκτύπωση ζωτικών οργάνων (Εικόνα 1.4) .

Η δυνατότητα μεταμόσχευσης των εκτυπωμένων ζωτικών οργάνων στον άνθρωπο είναι ακόμα σε ερευνητικό στάδιο.

Έχει ήδη κατασκευάσει βιολογικός εκτυπωτής Novogen που έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί τρισδιάστατο κυτταρικό ιστό σχεδόν πανομοιότυπο με αυτόν που δημιουργεί φυσιολογικά το ανθρώπινο σώμα.



Εικόνα 1.4. Τρισδιάστατη αναπαραγωγή - εκτύπωση ζωτικών οργάνων

Αυτή η “βιοεκτύπωση” καθιστά δυνατή τη δημιουργία ακριβέστατων και τρισδιάστατων ανθρώπινων ιστών εξολοκλήρου από ζωντανά κύτταρα, που φυσικά είναι ελεγμένα για τη συμβατότητα τους με αυτά του δυνητικού αποδέκτη του μοσχεύματος. Τελικός στόχος είναι η δημιουργία εξατομικευμένων οργάνων με “βιοεκτύπωση” για κάθε ασθενή ξεχωριστά.

Το 2007, ιδρύθηκε η Organovo, μια από τις πρώτες επιχειρήσεις που προσπάθησαν να τυπώσουν οργανικές δομές. Αυτή τη στιγμή, η Organovo χρησιμοποιεί δείγματα ιστού του συκωτιού και τα χρησιμοποιεί για την έρευνα φαρμάκων. Έτσι οι επιχειρήσεις ελπίζουν να αναπτύξουν ένα λειτουργικό συκώτι στο κοντινό μέλλον.

Ενώ υπάρχει ένα τεράστιο χάσμα στην πολυπλοκότητα μεταξύ της εκτύπωσης ενός οργάνου και της εκτύπωσης μια πλαστικής φιγούρας, οι διαδικασίες είναι αρκετά παρόμοιες. Οι μηχανές που χρησιμοποιούνται έχουν κασέτες και ακροφύσια που εκτοξεύουν μελάνι (βιολογικό μελάνι σε αυτή την περίπτωση) (Εικόνα 1.5.), από στρώμα σε στρώμα σε μια πλατφόρμα.



Εικόνα 1.5. Τρισδιάστατη εκτύπωση με βιολογικό μελάνι

Ωστόσο, έχουν μερικές βασικές διαφορές οι οποίες αναφέρονται παρακάτω.

Είναι γνωστό ότι τα περισσότερα όργανα μοιάζουν μεταξύ τους αλλά για να είναι σε θέση να τα μελετήσουν οι επιστήμονες, θα πρέπει να εκτελέσουν ανιχνεύσεις MRIs και CT στον ασθενή. Κατόπιν, πρέπει να τρέξουν τα αποτελέσματα μέσω του λογισμικού υπολογιστών για να δημιουργήσουν ένα σχεδιάγραμμα που θα χρησιμεύσει ως ο οδηγός τους σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τα κύτταρα τοποθετούνται σε κάθε στρώμα.

Αντί των πλαστικών ή των μετάλλων PVC, οι βιο-εκτυπωτές χρησιμοποιούν τα ανθρώπινα κύτταρα στα όργανα που παράγουν. Εκτός από τα κύτταρα του πραγματικού οργάνου, οι εκτυπωτές θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιήσουν βλαστικά κύτταρα, υλικά όπως ένα πολυμερές σώμα που αποκαλείται άλας αλγινικού οξέος και άλλα υποκατάστατα που το ανθρώπινο σώμα δεν πρόκειται να απορρίψει.

Μόλις τυπωθεί το δείγμα, πρέπει να πάει στον επωαστήρα έτσι ώστε τα κύτταρα να αρχίσουν να λειτουργούν όπως ένα πραγματικό όργανο. Αυτό είναι και το βασικότερο ζήτημα καθώς και ο βασικότερος λόγος που δεν δημιουργούνται συσκευές δημιουργίας οργάνων στα νοσοκομεία.

Σύμφωνα με τον Anthony Atala, είναι ένας συνδυασμός διάφορων ζητημάτων.

Πρωταρχικό ζήτημα είναι η χρήση των υλικών που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των μελών του σώματος, και έπειτα να αναπτυχθούν επαρκώς έξω από το σώμα. Έτσι μπορεί να γίνει προσθήκη ενός οργάνου, που έχει δημιουργηθεί από έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή, μέσα στο σώμα του ασθενή. Όπως έχει αναφερθεί, τα πραγματικά όργανα είναι σύνθετα, έτσι, τα τυπωμένα κύτταρα που «λιώνουν» ώστε να δημιουργηθούν υποκατάστατα οργάνων δεν σημαίνει ότι λειτουργούν όπως θα έπρεπε .

Εκτός από τις δυσκολίες που παρουσιάζουν τα κύτταρα ενός τρισδιάστατου - τυπωμένου οργάνου ώστε να συμπεριφερθούν όπως τη πραγματικότητα, οι επιστήμονες βρίσκουν επίσης δύσκολο να δημιουργήσουν όργανα με αιμοφόρα αγγεία καθώς απαιτούνται οι αρτηρίες, οι φλέβες και τα τριχοειδή αγγεία μέσω των οποίων παραδίδονται οι θρεπτικές ουσίες σε όλο τον οργανισμό.

Το μέλλον των τρισδιάστατα αποτυπωμένων οργάνων

Μέχρι τώρα έχουν υπάρξει αρκετές επιτυχημένες προσπάθειες αποτύπωσης οργάνων. Ο λόγος που είναι επιτυχημένες είναι γιατί οι περισσότερες δεν είναι

λειτουργικές ή απλά επιβιώνουν για λίγες ημέρες. Η Organono, για παράδειγμα, δημιούργησε ένα μικρό ανθρώπινο συκώτι που λειτουργεί πλήρως – μόνο που διαρκεί μόνο 40 μέρες.

Μία ομάδα από το Πανεπιστήμιο του Mireille, από την άλλη, αποτύπωσε επιτυχώς βαλβίδες της καρδιάς και μικρές φλέβες με την ελπίδα να δημιουργήσουν στο μέλλον μία λειτουργική καρδιά χρησιμοποιώντας τα κύτταρα ενός ασθενή. Οι ερευνητές του Cornell δημιούργησαν το ψεύτικο αυτί (το οποίο, παρεμπιπτόντως λειτουργεί μία χαρά) από ζωντανά κύτταρα και ενέσιμα τζελ.

Σύμφωνα με τον Atala, παρόλα αυτά, περίπου το 90% των ασθενών στη λίστα αναμονής οργάνων ψάχνουν για νεφρά. Ίσως είναι αυτό το είδος ζήτησης που έδωσε το κίνητρο σε μία ομάδα Κινέζων επιστημόνων να αναπτύξουν μικρά, αποτυπωμένα λειτουργικά νεφρά, τα οποία, δυστυχώς, παραμένουν ζωντανά για τέσσερις μόνο μήνες. Ο ίδιος ο Atala αναζητά τρόπους να φτιάξει ένα νεφρό με τρισδιάστατη αποτύπωση, μέχρι που παρουσίασε ένα μη λειτουργικό μοντέλο επί σκηνης στην TED ομιλία του.

Κατά τη διάρκεια αυτής της παρουσίασης, ο χειρουργός μοιράστηκε τρόπους με τους οποίους μπορεί να ωριμάσει η τεχνολογία. Μίλησε για ένα μέλλον όπου οι σαρωτές θα μπορούν να εξετάσουν και να εκτιμήσουν τα τραύματα ενός ασθενή και μετά να αποτυπώσουν απευθείας στο σώμα του. Πριν φτάσουμε εκεί, οι βίο-αποτυπωμένοι ιστοί και τα όργανα πηγαίνουν στα εργαστήρια και τις ιατρικές σχολές μαζί με τέλεια δείγματα, τα οποία μπορούν να μεταμοσχευθούν μετά στα σώματα των ασθενών σε αναμονή.

1.7. Πως λειτουργούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές

Η **τρειςδιάστατη 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 και εξοπλισμό προσθετικής κατασκευής, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση. Για τον λόγο αυτό, θεωρείται 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 παραγωγή τοπική και μικρής κλίμακας, προσαρμοσμένη στις τρέχουσες ανάγκες.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή φυσικών μοντέλων και πρωτοτύπων 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).

Η βασική ιδέα πίσω από την τρισδιάστατη εκτύπωση, μια καθομιλουμένη φράση για μία μέθοδο που ονομάζεται «προσθετική κατασκευή», συναντάται στους σχηματισμούς πετρωμάτων σε μεγάλα βάθη κάτω από τη γη (οι σταγόνες του νερού εναποθέτουν λεπτές στρώσεις μετάλλων σχηματίζοντας σταλακτίτες και σταλαγμίτες), ενώ ένα πιο σύγχρονο παράδειγμα είναι ένα κοινός επιτραπέζιος εκτυπωτής. Όπως ακριβώς ένας εκτυπωτής ψεκασμού μελάνης προσθέτει μεμονωμένες κουκίδες του μελανιού για να σχηματίσουν μια εικόνα, ένας 3D εκτυπωτής προσθέτει υλικό όπου χρειάζεται, ακολουθώντας εντολές από ένα ψηφιακό αρχείο.

Η τεχνολογία της προσθετικής κατασκευής εφαρμόζεται σε εκτυπωτές με διάφορα μεγέθη και σχήματα, ανεξάρτητα όμως από το είδος του τρισδιάστατου εκτυπωτή ή από το υλικό που χρησιμοποιείται, η διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης ακολουθεί τα ίδια βασικά βήματα. Ξεκινά με τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου σχεδίου από το αντικείμενο προς εκτύπωση, χρησιμοποιώντας ψηφιακό λογισμικό CAD (Computer Aided Design). Το ψηφιακό μοντέλο μπορεί επίσης να προκύψει μέσω της χρήσης κάποιου τρισδιάστατου σαρωτή είτε κατεβάζοντας απλώς κάποιο αρχείο από τη διαδικτυακή αγορά.

Η προετοιμασία του εκτυπωτή περιλαμβάνει αρχικά το γέμισμά του με τις πρώτες ύλες (όπως πλαστικά, σκόνες μετάλλων). Απαιτείται η επιλογή του κατάλληλου υλικού με το οποίο θα επιτευχθούν καλύτερα οι συγκεκριμένες ιδιότητες που

χρειάζονται για το αντικείμενο που θα παραχθεί. Η ποικιλία των υλικών που χρησιμοποιούνται στους τρισδιάστατους εκτυπωτές είναι πολύ μεγάλη, περιλαμβάνει πλαστικά, κεραμικά, ρητίνη, μέταλλα, άμμο, υφάσματα, βιο-υλικά, γυαλί ακόμα και τροφή.

Επιπλέον, απαιτείται προετοιμασία της πλατφόρμας κατασκευής (σε ορισμένες περιπτώσεις, ίσως χρειαστεί να καθαριστεί ή να εφαρμόσει μια κόλλα για να αποτραπεί η μετακίνηση και στρέβλωση του αντικειμένου από τη θερμότητα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης).

Μόλις φορτωθεί το ψηφιακό μοντέλο στον εκτυπωτή, το μηχάνημα αναλαμβάνει αυτόματα τη δημιουργία του επιθυμητού αντικειμένου. Ενώ οι διεργασίες εκτύπωσης ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας του τρισδιάστατου εκτυπωτή, η εξώθηση υλικού (η οποία περιλαμβάνει έναν αριθμό διαφορετικών τύπων διεργασιών) είναι η πιο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται στους επιτραπέζιους τρισδιάστατους εκτυπωτές.

Η εξώθηση υλικού λειτουργεί σαν ένα πυροβόλο όπλο κόλλας. Το υλικό εκτύπωσης, κατά κανόνα ένα πλαστικό νήμα, θερμαίνεται μέχρις ότου υγροποιείται και εξωθείται μέσω του ακροφυσίου (η άκρη από την οποία εκτινάσσεται το νήμα) εκτύπωσης.

Χρησιμοποιώντας πληροφορίες από το ψηφιακό αρχείο, ο σχεδιασμός είναι χωρισμένος σε λεπτές δισδιάστατες διατομές, ώστε ο εκτυπωτής να ξέρει ακριβώς πού να τοποθετήσει το πλαστικό υλικό (πολυμερές) μέσω του ακροφυσίου σε λεπτές στρώσεις, συχνά 0,1 χιλιοστά πάχους.

Το πολυμερές στερεοποιείται γρήγορα και δένεται με το κάτω στρώμα του υλικού πριν χαμηλώσει η πλατφόρμα και η κεφαλή εκτύπωσης προσθέσει άλλο στρώμα. Ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του αντικειμένου, η όλη διαδικασία μπορεί να διαρκέσει από λεπτά έως ημέρες.

Αφού ολοκληρωθεί η εκτύπωση, κάθε αντικείμενο απαιτεί μία ελάχιστη μετα-επεξεργασία η οποία περιλαμβάνει ποικιλία πρακτικών (απλών ή περισσότερο σύνθετων), από την απλή αποκόλληση του αντικειμένου από την πλατφόρμα εκτύπωσης, έως την αφαίρεση δομών στήριξης από το αντικείμενο (προσωρινό υλικό που τυπώνεται για τη στήριξη προεξοχών επί του αντικειμένου), το βούρτσισμα, το φινιρίσμα κτλ. Αυτό το βήμα απαιτεί συχνά εξειδικευμένες δεξιότητες και υλικά. Όταν

το αντικείμενο πρωτοτυπώνεται, συχνά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή να ολοκληρωθεί μέχρις ότου λειανθεί, βερνικωθεί ή βαφτεί ώστε να ολοκληρωθεί ο αρχικός σχεδιασμός του.

Το υλικό το οποίο έχει επιλεγεί είναι αυτό το οποίο θα καθορίσει ποια μέθοδος μετα-επεξεργασίας είναι η πιο αρμόδια.

1.8. Οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές επιπτώσεις

Υπάρχει η άποψη ότι η πτώση του κόστους αλλά και η αύξηση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας των τρισδιάστατων εκτυπωτών θα σημάνει την ευρεία διαθεσιμότητά τους, που με τη σειρά της ανοίγει νέους ορίζοντες για την επέκταση της ομότιμης παραγωγής στον υλικό κόσμο. Καθώς η τρισδιάστατη τεχνολογία εξαπλώνεται, είναι βέβαιο ότι θα εγείρει και ορισμένα σημαντικά νομικά ζητήματα, ειδικά όσον αφορά την ευθύνη της πνευματικής ιδιοκτησίας. «Εάν εκτυπώσετε ένα τιμόνι και το τιμόνι σπάσει, ποιος θα φταίει;» αναρωτιέται ο Hod Lipson, καθηγητής στο πεδίο της μηχανικής στο Πανεπιστήμιο Columbia της Νέας Υόρκης και συγγραφέας του βιβλίου με τίτλο «Κατασκευασμένος: Ο νέος κόσμος της 3D εκτύπωσης». «Είναι ο σχεδιαστής; είναι ο κατασκευαστής του εξοπλισμού; [ή] είναι ο κατασκευαστής του υλικού; Υπάρχουν πολλοί άνθρωποι στην αλυσίδα. Οι αρμοδιότητες δεν είναι σαφείς.» Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο αγοράζουμε και χρησιμοποιούμε προϊόντα, αλλά επίσης θα αλλάξει δραματικά τον πραγματικό ρόλο του καταναλωτή και της ευθύνης που θα έχει, καθώς θα συμμετέχει στο νέο αυτό καθεστώς που αφορά την κατασκευαστική οικονομία. Στο βιβλίο «3D Printing Will Rock the World», ο John Hornick, συγγραφέας και δικηγόρος με εξειδίκευση σε ζητήματα πνευματικής ιδιοκτησίας, συζητά για τις πιθανές απροσδόκητες συνέπειες της τρισδιάστατης εκτύπωσης σχετικά με το πώς θα επηρεάσει τη νομοθεσία της πνευματικής ιδιοκτησίας, των εμπορικών σημάτων, αλλά και του αντίκτυπου που θα έχει η εδραίωση ενός μικρού εργοστασίου (μονάδα κατασκευής αντικειμένων) στο σπίτι του καθένα.

Μοντέλα

Ο RepRap είναι ένα μοντέλο εκτυπωτή 3D που χρησιμοποιεί ελεύθερο λογισμικό, φροντίζοντας να πληροί τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί από το GNU General Public License. Μπορεί να αντιγράψει κάποιο μέρος του εαυτού του, μιας και

αποτελείται από πλαστικά μέρη τα οποία μπορεί και να εκτυπώσει. Υπάρχει επίσης έρευνα σε εξέλιξη ώστε μελλοντικά να υπάρξει η δυνατότητα για εκτύπωση πινάκων κυκλωμάτων καθώς επίσης και μεταλλικών μερών.

Ο MakerBot είναι επίσης ένα μοντέλο 3D εκτυπωτή ελεύθερου λογισμικού που κατασκευάζεται από την MakerBot Industries.

Ελεύθερο Λογισμικό

Το Ελεύθερο Λογισμικό, όπως ορίζεται στον ορισμό του Ελεύθερου Λογισμικού από το Ίδρυμα Ελευθέρου Λογισμικού (Free Software Foundation), είναι λογισμικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αντιγραφεί, μελετηθεί, τροποποιηθεί και αναδιανεμηθεί χωρίς περιορισμό.

Η ελευθερία από τέτοιους περιορισμούς είναι βασικό στοιχείο στην ιδέα του Ελεύθερου Λογισμικού, έτσι ώστε το αντίθετο του Ελεύθερου Λογισμικού είναι το λογισμικό το οποίο θέτει περιορισμούς στις παραπάνω ελευθερίες (π.χ. κρυφός πηγαίος κώδικας, περιορισμένη λειτουργία, απαγόρευση κάποιας χρήσης του προγράμματος, π.χ. της επαγγελματικής, απαγόρευση μετάδοσης σε τρίτους, κτλ.), και όχι το εμπορικό λογισμικό το οποίο μπορεί να πωληθεί και να αναδιανεμηθεί με σκοπό το κέρδος. Επομένως ο όρος Ελεύθερο Λογισμικό δεν αναφέρεται στην τιμή της διανομής του λογισμικού, την οποία διανομή μάλιστα επιτρέπεται να χρεώνει ο κάθε διανομέας, εάν το επιθυμεί, αλλά στα δικαιώματα του χρήστη κατά την χρήση του λογισμικού μετά την απόκτηση του. Ωστόσο, η συντριπτική πλειοψηφία των Ελεύθερων Λογισμικών διανέμεται δωρεάν.

Δημοφιλή παραδείγματα για Ελεύθερα Λογισμικά είναι π.χ. ο φυλλομετρητής Mozilla Firefox, το πακέτο εφαρμογών γραφείου LibreOffice, ο εξυπηρετητής του παγκόσμιου ιστού Apache ή ο πυρήνας λειτουργικού συστήματος Linux.

Το Ελεύθερο Λογισμικό ορισμένες φορές αναφέρεται και ως ανοιχτό λογισμικό ή λογισμικό ανοιχτού κώδικα αλλά οι δύο έννοιες δεν είναι ταυτόσημες. Σύμφωνα με τον Ρίτσαρντ Στάλλμαν, ιδρυτή του Ιδρύματος Ελεύθερου Λογισμικού και συνολικά της έννοιας του ελεύθερου λογισμικού, δεν είναι κάθε λογισμικό ελεύθερο μόνο και μόνο επειδή είναι ανοιχτού κώδικα. Επίσης, πολλές συζητήσεις έχουν γίνει σχετικά με τη δυναμική και τα ιδιαίτερα γνωρίσματα των μοντέλων παραγωγής του

Ελεύθερου Λογισμικού ως πρότυπο μιας νέας μορφής κοινωνικής, οικονομικής και πολιτικής οργάνωσης.

1.9. Μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτύπωση τρισδιάστατων αντικειμένων ποικίλουν. Στη συνέχεια περιγράφονται κάποιες από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους.

1.9.1. Στερεολιθογραφία

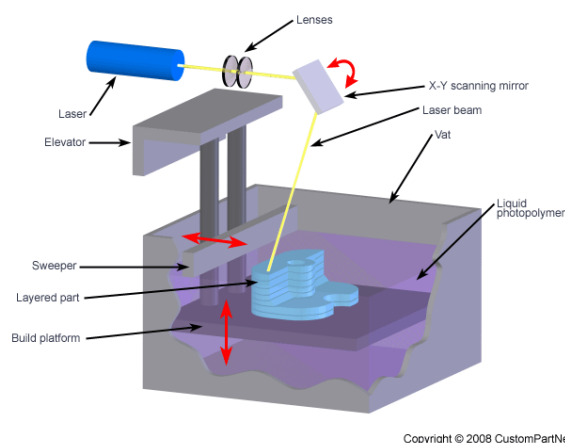
Στην στερεολιθογραφία χρησιμοποιείται υπεριώδης ακτινοβολία ώστε να στερεοποιήσει το υγρό φωτοπολυμερές υλικό και να κατασκευαστεί το επιθυμητό αντικείμενο.

Μία δεξαμενή γεμίζεται με το φωτοπολυμερές υλικό και η βάση τοποθετείται σχεδόν στην επιφάνεια του υγρού, αφήνοντας να καλυφθεί από το υλικό που αντιστοιχεί στο πρώτο επίπεδο. Το σύστημα παράγει μία δέσμη υπεριώδους ακτινοβολία που μόλις πέσει πάνω στο φωτοπολυμερές υλικό, το στερεοποιεί.

Η δέσμη πέφτει στα σημεία που υποδεικνύει ο G-code και έπειτα η βάση κατεβαίνει πιο κάτω, δηλαδή στο επόμενο επίπεδο, και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία μέχρι να κατασκευαστούν όλα τα επίπεδα του αντικειμένου. Το υλικό κάθε επιπέδου ενώνεται με το προηγούμενο επίπεδο καθώς στερεοποιείται (Εικόνα 1.6).

Καθώς το αντικείμενο κατασκευάζεται μέσα σε υγρό, χρειάζεται κάποια στήριξη. Αφού ολοκληρωθεί η εκτύπωση, η στήριξη αφαιρείται και το αντικείμενο βυθίζεται σε διαλυτική ουσία ώστε να καθαριστεί από το εναπομείναν υγρό υλικό. Τέλος, μπαίνει σε φούρνο υπεριώδους ακτινοβολίας για να στερεοποιηθεί πλήρως.

Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλή ακρίβεια και ανάλυση. Ενδείκνυται, κυρίως, για κατασκευή μικρών αντικειμένων επειδή χρειάζεται αρκετό χρόνο για να ολοκληρωθεί η διαδικασία, αφού η ακτινοβολία πέφτει σε ένα μικρό τμήμα του αντικειμένου κάθε φορά. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι φωτοπολυμερείς ρητίνες.



Εικόνα 1.6. Διαδικασία Στερεολιθογραφίας

1.9.2. Εκτύπωση με τροφοδοσία υλικού σε μορφή νήματος

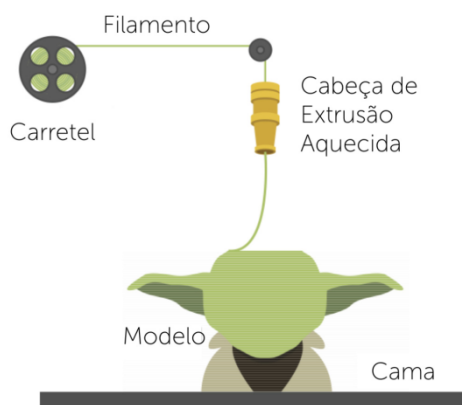
Στη μέθοδο εκτύπωσης με τροφοδοσία υλικού σε μορφή νήματος, το υλικό περνά από έναν εξωθητή (extruder), ο οποίος έχει τέτοια ροπή ώστε να περνάει συγκεκριμένη ποσότητα υλικού (Εικόνα 1.7.).

Το νήμα εισέρχεται σε ένα μπλοκ υψηλής θερμοκρασίας όπου το υλικό λιώνει και, έπειτα, περνά από μία κεφαλή υψηλής θερμοκρασίας, και εναποθέτει το λιωμένο υλικό σε στρώσεις.

Μόλις εκτυπώνεται ένα επίπεδο, η πλατφόρμα κατεβαίνει προς τα κάτω για να πάει στο επόμενο επίπεδο. Και στο FDM μπορεί να χρειάζεται στήριξη του αντικειμένου εάν υπάρχουν κομμάτια που εξέχουν στον αέρα. Για τον λόγο αυτό, υπάρχουν δύο κεφαλές. Η μία εναποθέτει το υλικό κατασκευής και η άλλη ένα υλικό στήριξης.

Μόλις ολοκληρωθεί η κατασκευή το υλικό βυθίζεται σε διαλυτικό ή βρέχεται με νερό υπό πίεση για να φύγει το υλικό στήριξης, αν αυτό είναι υδατοδιαλυτό. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σταθερά στηρίγματα, τα οποία μετά σπάνε και αφαιρούνται.

Η μέθοδος FDM είναι η πιο δημοφιλής και χρησιμοποιείται, μάλιστα, στους εκτυπωτές ARap. Αυτό οφείλεται στο χαμηλό κόστος κατασκευής εκτυπωτών που υλοποιούν αυτή τη μέθοδο και των υλικών που χρησιμοποιούνται. Τα υλικά αυτά είναι διάφορα θερμοπλαστικά, μέταλλα, χαρτί, κερί, βρώσιμες ουσίες, ανθρώπινος ιστός, τσιμέντο κ.ά.



Εικόνα 1.7. Μέθοδος νήματος

1.9.3. Μέθοδοι LS και LM

Οι μέθοδοι LS και LM (Εικόνα 1.8) αποτελούν ουσιαστικά την ίδια διαδικασία με μία μικρή διαφορά που θα επισημανθεί στη συνέχεια.

Αρχικά, έχουμε μία δεξαμενή γεμάτη με το υλικό που επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε σε μορφή σκόνης(δεξαμενή στα δεξιά της εικόνας).

Επίσης, υπάρχει μία πλατφόρμα κατασκευής, η οποία βρίσκεται σχεδόν στην επιφάνεια μίας δεύτερης δεξαμενής, αφήνοντας τόσο πάχος όσο είναι το κάθε επίπεδο εκτύπωσης.

Ένας κύλινδρος περιστρέφεται και σπρώχνει μέρος της σκόνης προς την πλατφόρμα κατασκευής. Το υλικό που απομένει πάνω στην πλατφόρμα αφού περάσει ο κύλινδρος αποτελεί την πρώτη στρώση του υπό κατασκευή αντικειμένου. Ένα τυπικό πάχος της στρώσης είναι 100μm.

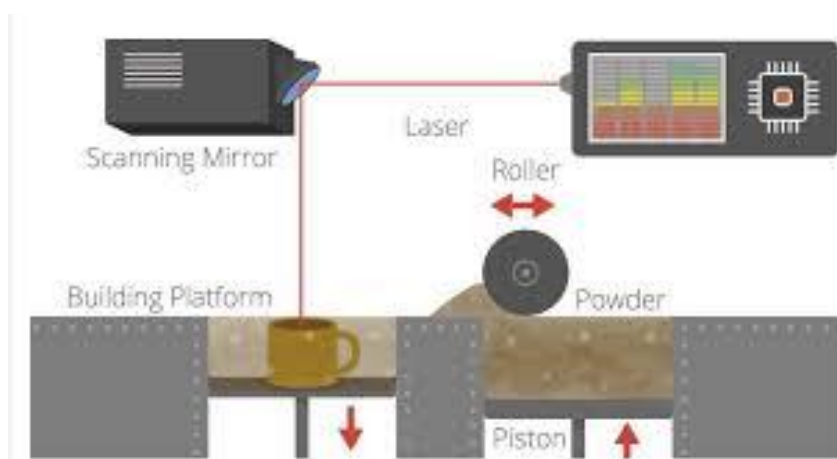
Έπειτα, παράγεται μία δέσμη φωτός, η οποία οδηγείται στα σημεία που πρέπει να εκτυπωθούν με την βοήθεια ενός καθρέφτη. Η δέσμη θερμαίνει το υλικό με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ενιαίο κομμάτι. Αφού ολοκληρωθεί η μία στρώση, η δεξαμενή με την σκόνη ανεβαίνει προς τα πάνω για να πάρει επιπλέον σκόνη ο κύλινδρος, ενώ η πλατφόρμα κατασκευής κατεβαίνει προς τα κάτω για να εναποτεθεί επάνω της το υλικό για την επόμενη στρώση.

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία αφαιρείται η περιττή σκόνη από το αντικείμενο, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επόμενη εκτύπωση. Κατά την εκτύπωση, δεν χρειάζονται στηρίγματα αφού η ίδια η σκόνη λειτουργεί σαν στήριγμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως διάφορα μέταλλα και μίγματά τους, καθώς και θερμοπλαστικά ή κεραμικά για την LS.

Η διαφορά των δύο μεθόδων έγκειται στο γεγονός ότι στην LS, το υλικό θερμαίνεται από την δέσμη τόσο ώστε να ενωθούν μεταξύ τους τα μόρια της σκόνης χωρίς να λιώνει πλήρως, ενώ στη μέθοδο LM το υλικό λιώνει εντελώς, δημιουργώντας ένα ομογενές κομμάτι.

Με την LS είναι δυνατό να ελεγχθεί η πυκνότητα του τελικού αντικειμένου πράγμα ιδιαίτερα χρήσιμο όταν χρησιμοποιείται μίγμα διαφορετικών υλικών. Από την άλλη, η LM επιλέγεται όταν χρησιμοποιείται ένα καθαρό μέταλλο, π.χ. καθαρό τιτάνιο.



Εικόνα 1.8. Μέθοδοι LS και LM

1.9.4. Inkjet 3D εκτυπωτές

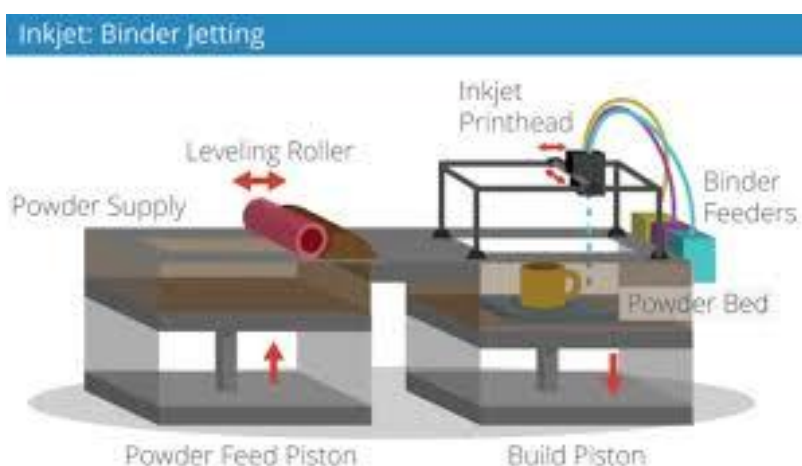
Στους Inkjet 3D εκτυπωτές (Εικόνα 1.9) εφαρμόζονται δύο μέθοδοι.

Στην μέθοδο binder jetting, υπάρχει ένας κύλινδρος που μεταφέρει το υλικό σε σκόνη από μία δεξαμενή (Powder Supply) στην πλατφόρμα κατασκευής (Powder Bed). Μία κεφαλή εκτύπωσης (Inkjet Printhead) εναποθέτει ένα είδος υγρής «κόλλας» (Binder) στα σημεία που θέλουμε να εκτυπωθούν.

Εν συνεχεία, η δεξαμενή υλικού ανεβαίνει ένα επίπεδο προς τα πάνω και ο κύλινδρος μεταφέρει την νέα στρώση υλικού στην πλατφόρμα κατασκευής, η οποία έχει ήδη κατέβει προς τα κάτω ένα επίπεδο για να εκτυπωθεί η επόμενη στρώση με όμοια διαδικασία. Στα σημεία όπου είχε πέσει η κόλλα, ενώνονται οι στρώσεις υλικού μεταξύ τους και σχηματίζεται το τελικό αντικείμενο.

Στη μέθοδο αυτή δεν χρειάζονται στηρίγματα αφού, όπως και στην LS, το υλικό σε σκόνη παίζει αυτό τον ρόλο. Μετά την εκτύπωση του αντικειμένου, μπορεί να χρειαστεί να μπει σε φούρνο για να στερεοποιηθεί πλήρως.

Πρόκειται για μία αρκετά γρήγορη μέθοδο που υποστηρίζει και την χρήση διαφόρων χρωμάτων καθώς αυτά μπορούν να προστεθούν στις διάφορες κόλλες και να παραχθούν πολλά χρώματα με συνδυασμό των κολλών. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι μέταλλα, πλαστικά, κερί, άμμος, κεραμικά, ακόμα και φαγητό (κυρίως για γλυκά).



Εικόνα 1.9. Μέθοδος με inkjet 3D εκτυπωτές

1.9.5. Direct material jetting

Στη μέθοδο direct material jetting (Εικόνα 1.10), υπάρχει μία κεφαλή εκτύπωσης με πολλά μικρά στόμια από τα οποία εξέρχεται το υλικό σε υγρή μορφή και σε πολύ μικρές ποσότητες, μη ορατές με γυμνό μάτι.

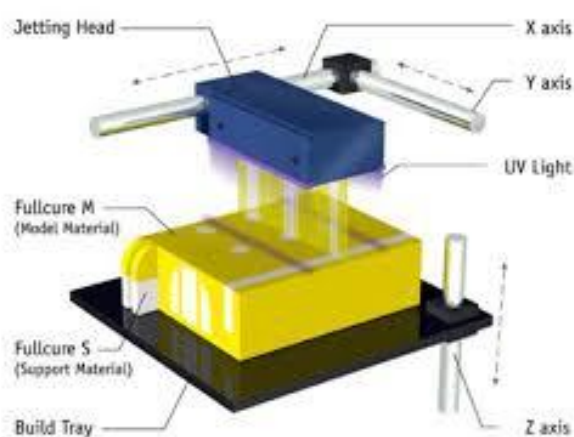
Η κεφαλή σαρώνει στους άξονες x-y την επιφάνεια της πλατφόρμας κατασκευής εναποθέτοντας ταυτόχρονα το επιθυμητό υλικό και το υλικό στήριξης στα σημεία

όπου χρειάζεται. Ουσιαστικά, τα στηρίγματα του αντικείμενου εκτυπώνονται μαζί με το ίδιο το αντικείμενο.

Γύρω από την κεφαλή εκτύπωσης παράγεται υπεριώδης ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στο εκτυπωμένο υλικό ώστε να το στερεοποιήσει.

Αφού εκτυπωθεί η πρώτη στρώση, η πλατφόρμα κατασκευής κατεβαίνει προς τα κάτω για να τυπωθεί η επόμενη.

Μόλις ολοκληρωθεί η εκτύπωση, τα στηρίγματα αφαιρούνται είτε με το χέρι είτε με νερό υπό πίεση γιατί το υλικό που χρησιμοποιείται για αυτά είναι υδατοδιαλυτό. Τα υλικά κατασκευής είναι κυρίως φωτοπολυμερή.



Εικόνα 1.10. Μέθοδος direct material jetting

Η μέθοδος παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς υπάρχει η δυνατότητα χρήσης πολλών υλικών ταυτόχρονα υλοποιώντας περισσότερες από μία κεφαλές με πολλά στόμια η καθεμία, στους λεγόμενους polyjet εκτυπωτές.

Επιπλέον, εφαρμόζεται και η χρήση διαφόρων χρωμάτων για τα μοντέλα.

1.10. Τα Πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των τρισδιάστατων εκτυπωτών

Πολλά είναι τα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών.

Αρχικά, υπάρχει κέρδος σε ταχύτητα καθώς, όσο πολύπλοκο και αν είναι ένα αντικείμενο, ο εκτυπωτής το αντιλαμβάνεται με τον ίδιο τρόπο ενώ για έναν άνθρωπο

θα ήταν πιο δύσκολο να σχεδιάσει την διαδικασία που θα πρέπει να ακολουθήσει μία άλλη μηχανή για να το κατασκευάσει. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για την κατασκευή πρωτοτύπων, όπου απαιτείται να υπάρξει σύντομα ένα αρχικό μοντέλο του προϊόντος για να ελεγχθεί στην αντοχή, την χρηστικότητα και τον σχεδιασμό του και να μην καθυστερείται η διαδικασία μέχρι να φτάσει στην παραγωγή του τελικού προϊόντος.

Επιπλέον, χάρη στην ταχύτητά τους, μπορούν να κατασκευάζονται προϊόντα on demand την στιγμή που τα παραγγέλνει ο καταναλωτής και να αποφεύγονται τα έξοδα για αποθήκευση των παραγόμενων προϊόντων.

Άλλος ένας παράγοντας που συμβάλλει στην μείωση του κόστους είναι η εξοικονόμηση υλικού, καθώς χρησιμοποιείται ακριβώς τόσο υλικό όσο χρειάζεται για την δημιουργία ενός αντικειμένου και σε περιπτώσεις που περισσεύει, είτε σε μορφή σκόνης είτε σε υγρή μορφή, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για μεταγενέστερη εκτύπωση. Λόγω αυτού, δεν δημιουργούνται απόβλητα με άχρηστο, πλέον, υλικό και προστατεύεται το περιβάλλον.

Τέλος, γίνεται πραγματικότητα η κατασκευή αντικειμένων που δεν ήταν δυνατό να κατασκευαστούν με τις προϋπάρχουσες μεθόδους λόγω της πολυπλοκότητάς τους, ενώ, επίσης, επιτυγχάνεται η παραγωγή προσαρμοσμένων προϊόντων (customized) που ανταποκρίνονται ακριβώς στις απαιτήσεις του κάθε χρήστη.

Από την άλλη μεριά, υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα σχετικά με την ανάλυση και την σταθερότητα των εκτυπωμένων αντικειμένων καθώς κάποιες μέθοδοι δεν αποδίδουν τόσο καλά σε ανάλυση ενώ σε άλλες. Για παράδειγμα, στην στερεολιθογραφία, έχει παρατηρηθεί ότι μετά την πάροδο ετών τα αντικείμενα αρχίζουν να γίνονται πιο εύθραυστα. Αυτά τα προβλήματα όμως, τείνουν να ξεπεραστούν με τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις.

Ακόμα ένα μειονέκτημα είναι ότι προσφέρονται σχετικά περιορισμένα υλικά για χρήση στην τρισδιάστατη εκτύπωση αλλά γίνονται ήδη μελέτες και δοκιμές ώστε να εισαχθούν νέα.

Προεκτάσεις υπάρχουν και στην ηθική πλευρά του ζητήματος, αφού μπορεί οποιοσδήποτε διαθέτει έναν εκτυπωτή στο σπίτι του, να εκτυπώσει επικίνδυνα αντικείμενα όπως μαχαίρια και όπλα. Το 2013 εκτυπώθηκε στις ΗΠΑ ένα όπλο από

πλαστικό υλικό το οποίο δοκιμάστηκε και λειτουργούσε κανονικά. Οι κατασκευαστές αποφάσισαν να ανεβάσουν τα σχέδιά του στο διαδίκτυο επιτρέποντας την ελεύθερη χρήση τους από όλους. Το γεγονός αυτό ξεσήκωσε θύελλα αντιδράσεων αφού το όπλο δεν ήταν δυνατό να εντοπιστεί από τα ειδικά μηχανήματα γιατί δεν ήταν μεταλλικό ενώ ταυτόχρονα καθιστούσε την άδεια οπλοκατοχής περιπτή. Τελικά, απαγορεύτηκε και τα σχέδια βγήκαν από το διαδίκτυο.

Επίσης, υπάρχουν και άλλα θέματα που πρέπει να εξεταστούν σχετικά με την ηθική πλευρά της τρισδιάστατης εκτύπωσης όπως η εφαρμογή της στην ιατρική. Για την κατασκευή μοσχευμάτων χρησιμοποιούνται κύτταρα του ίδιου του ασθενή ώστε να είναι συμβατά με τον οργανισμό του. Πρέπει όμως να διασφαλιστεί ότι τα κύτταρά του δεν αποθηκεύονται και δεν χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς χωρίς την έγκρισή του. Όπως και σε άλλες επιστήμες, λοιπόν, χρειάζεται να μπουν κάποια όρια.

Κεφάλαιο 2 - Τρισδιάστατοι εκτυπωτές και τρισδιάστατη εκτύπωση

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης και τις εφαρμογές της. Επίσης, γίνεται παρουσίαση των εξωθητήρων (extruder) και της λειτουργίας τους, των υλικών που χρησιμοποιούνται από τους εκτυπωτές και παρουσίαση των μοντέλων εκτυπωτών χαμηλού κόστους.

2.1. Τι είναι τρισδιάστατος εκτυπωτής

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια τεχνολογία παραγωγής με πρόσθεση υλικού, όπου ένα αντικείμενο δημιουργείται με την πρόσθεση διαδοχικών στρωμάτων του υλικού. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι γενικά, πιο γρήγοροι, πιο προσιτοί και πιο εύκολοι στη χρήση τους από άλλες τεχνολογίες κατασκευής με τον τρόπο πρόσθεσης υλικού.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές προσφέρουν τη δυνατότητα κατασκευής διαφόρων εξαρτημάτων, σύνθετης μορφής, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες σε μία ενιαία διαδικασία κατασκευής.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης. Οι κύριες διαφορές είναι στον τρόπο που κατασκευάζουν τα στρώματα για την δημιουργία αντικειμένων. Κάποιες μέθοδοι χρησιμοποιούν την πήξη και κάποιες το μαλάκωμα των υλικών για την παραγωγή των στρωμάτων π.χ. Selective Laser Sintering (SLS) και Fused Deposition Modeling (FDM).

Οι βιομηχανικοί εκτυπωτές κατασκευάζονται από εταιρίες όπως είναι οι Objet Geometries, Stratasys, 3DSystems and Z-corp.

2.2. Γενικά για τις τρισδιάστατες εκτυπώσεις

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια διαδικασία δημιουργίας τρισδιάστατων αντικειμένων από ένα ψηφιακό αρχείο χρησιμοποιώντας έναν εκτυπωτή υλικών, με τρόπο παρόμοιο με την εκτύπωση εικόνων σε χαρτί.

Ο όρος είναι περισσότερο συνδεδεμένος με την τεχνολογία προσθετικής παραγωγής (additive manufacturing), όπου ένα αντικείμενο δημιουργείται από την εναπόθεση διαδοχικών στρωμάτων του υλικού. Όλο και περισσότερο ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλους τους τύπους των διαδικασιών προσθετικής παραγωγής.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση γίνεται συνήθως χρησιμοποιώντας έναν εκτυπωτή υλικών. Από το 2003 υπήρξε μεγάλη αύξηση στις πωλήσεις των τρισδιάστατων εκτυπωτών καθώς και μείωση του κόστους τους.

Η τεχνολογία αυτή βρίσκει επίσης χρήση στον τομέα των κοσμημάτων, υποδημάτων, βιομηχανικού σχεδιασμού, αρχιτεκτονικής, μηχανικής και κατασκευών, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροδιαστημικής, της οδοντιατρικής και της ιατρικής, της εκπαίδευσης, των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, έργα πολιτικού μηχανικού και πολλών άλλων.

2.3. Αρχές τρισδιάστατης εκτύπωσης

Η χρήση της πρόσθετης παραγωγής παίρνει εικονικά σχέδια από ένα λογισμικό CAD (Computer Aided Design) ή λογισμικό προσομοίωσης animation, τα μετατρέπει σε λεπτές, εικονικές, οριζόντιες διατομές και στη συνέχεια δημιουργεί διαδοχικές στρώσεις μέχρι το μοντέλο να είναι πλήρες. Είναι μια διαδικασία όπου το εικονικό μοντέλο και το φυσικό μοντέλο είναι σχεδόν ταυτόσημα.

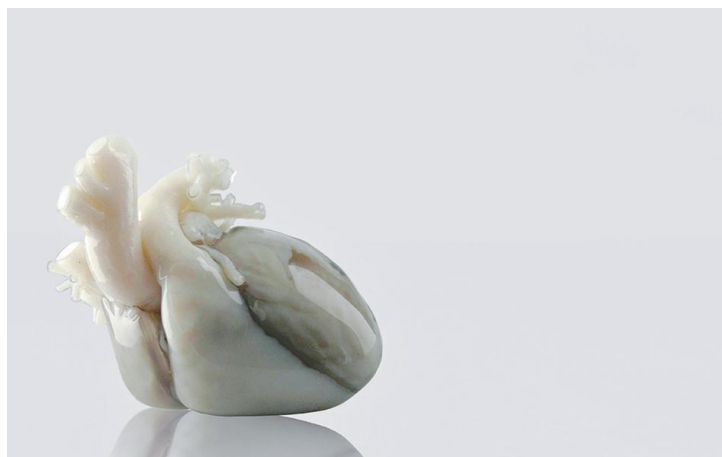
Η μηχανή διαβάζει δεδομένα από ένα σχέδιο CAD και καθορίζει τις διαδοχικές στρώσεις υγρού, σκόνης, ή φύλλου υλικού και με αυτόν τον τρόπο ενισχύει το μοντέλο από μια σειρά διατομών. Αυτά τα στρώματα, τα οποία αντιστοιχούν στην εικονική διατομή από το μοντέλο CAD, ενώνονται ή συγχωνεύονται αυτόματα για να δημιουργήσουν το τελικό σχήμα.

Το κύριο πλεονέκτημα για την κατασκευή πρόσθετης ύλης είναι η ικανότητά της να δημιουργήσει σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα ή γεωμετρικό χαρακτηριστικό. Η πρότυπη διεπαφή δεδομένων λογισμικού CAD και των μηχανημάτων είναι η μορφή αρχείου STL. Ένα αρχείο STL προσεγγίζει το σχήμα ενός μέρους ή συνόλου της συναρμολόγησης με τριγωνικές πλευρές (τριγωνοποίηση αντικειμένου). Μικρότερες πτυχές παράγουν υψηλότερη ποιότητα επιφάνειας. VRML (ή WRL) είναι τα αρχεία

που χρησιμοποιούνται συχνά ως είσοδοι στις τρισδιάστατες τεχνολογίες εκτύπωσης που είναι σε θέση να τυπώσουν έγχρωμα.

2.4. Εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης

Συνήθεις εφαρμογές περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό, την κατασκευή προτύπων, την χύτευση μετάλλων, την αρχιτεκτονική και την εκπαίδευση. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν την ανακατασκευή απολιθωμάτων στην παλαιοντολογία, την αντιγραφή αρχαίων και ανεκτίμητων έργων τέχνης στην αρχαιολογία, την ανακατασκευή των οστών του σώματος στην ιατροδικαστική παθολογία (Εικόνα 2.1.) και την ανάκτηση στοιχείων που συγκεντρώθηκαν από τις έρευνες σε τόπους εγκλήματος.



Εικόνα 2.1. Καρδιά εκτυπωμένη σε τρισδιάστατο εκτυπωτή

Η χρήση των τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης επιτρέπει την αναπαραγωγή των πραγματικών αντικειμένων, χωρίς τη χρήση τεχνικών διαμόρφωσης (όπως στις μηχανές CNC), όπου σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να είναι πολύ ακριβές, δύσκολες ή επεμβατικές για να πραγματοποιηθούν.

Ιδιαίτερα σε πολύτιμα ή ευαίσθητα αντικείμενα της πολιτιστικής κληρονομιάς, η άμεση επαφή των ουσιών αυτών θα μπορούσε να βλάψει την διαμόρφωση της επιφάνειας του αρχικού αντικειμένου.

Βιομηχανικοί τρισδιάστατοι εκτυπωτές έχουν υπάρξει από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 και έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την ταχεία προτυποποίηση και για

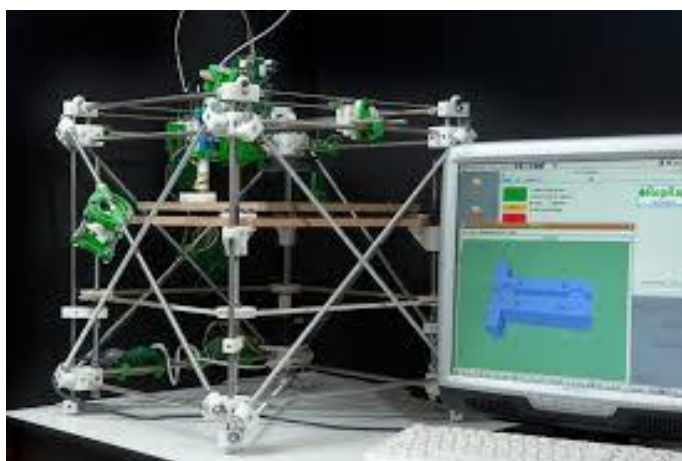
ερευνητικούς σκοπούς, αλλά με την πτώση των τιμών και την εύρεση νέων τεχνικών παρατηρείται μια άνθηση στον τομέα αυτό.

2.5. Τρισδιάστατοι εκτυπωτές χαμηλού κόστους

Καθώς στη παρούσα πτυχιακή σχεδιάστηκε ένας εκτυπωτής χαμηλού κόστους παρακάτω αναφέρονται κάποια μοντέλα τρισδιάστατων εκτυπωτών χαμηλού κόστους.

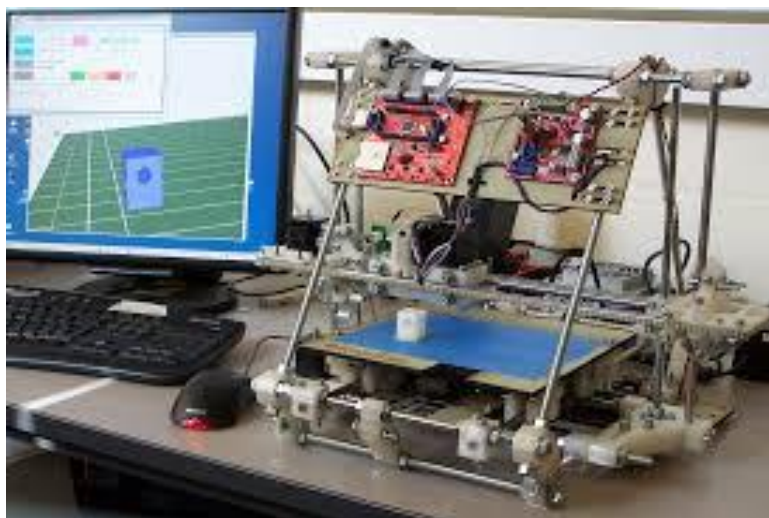
Η αναφορά ξεκινά από τον πρώτο εκτυπωτή που κατασκευάστηκε και καταλήγει στον πιο πρόσφατο. Ακόμα παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά και οι διαφορές τους που είναι σημαντικές και εμφανείς με το πέρασμα του χρόνου.

Ο πρώτος τρισδιάστατος εκτυπωτής είναι ο Darwin (Εικόνα 2.2.). Ο εκτυπωτής αυτός κατασκευάστηκε το 2007 από Adrian Bowyer που όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι και ο δημιουργός της κοινότητας RepRap. Ο εκτυπωτής αυτός είναι πολύ απλός στην κατασκευή του και αποτελείται από μεταλλικές ράβδους και εκτυπώσιμα πλαστικά κομμάτια.



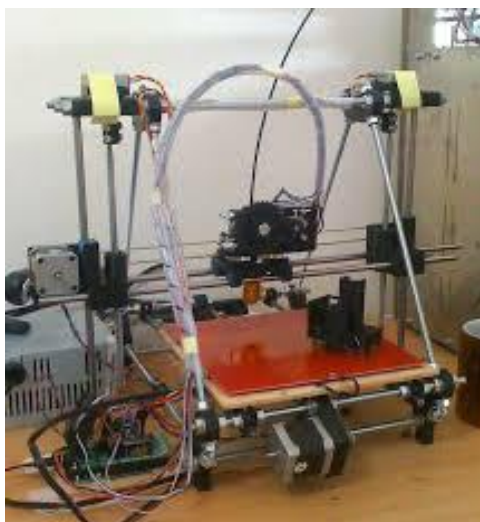
Εικόνα 2.2. Εκτυπωτής Darwin. Ο πρώτος που κατασκευάστηκε το 2007

Ο επόμενος εκτυπωτής που κατασκευάστηκε είναι ο Mendel (Εικόνα 2.3). Αυτός ο εκτυπωτής είναι μια βελτιωμένη έκδοση του Darwin. Η λογική της κατασκευής παραμένει η ίδια αλλά εμφανίζει αρκετές διαφορές στα χαρακτηριστικά του όπως είναι το μικρό του μέγεθος αλλά και ο μεγαλύτερος χώρος εκτύπωσης. Αποτελείται από 102 εκτυπώσιμα κομμάτια.



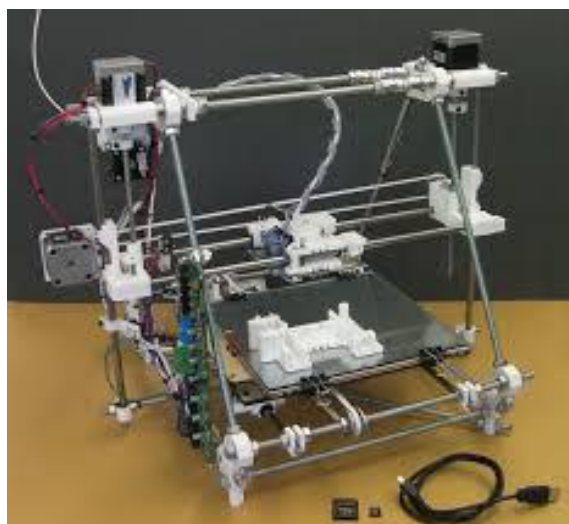
Εικόνα 2.3. Εκτυπωτής Mendel

Επόμενος τρισδιάστατος εκτυπωτής είναι ο **Prusa Mendel** (Εικόνα 2.4.). Ο εκτυπωτής αυτός σχεδιάστηκε για να διευκολύνει ακόμα περισσότερο την συναρμολόγηση του. Είναι μια βελτιωμένη έκδοση του Mendel με βελτιώσεις στον τρόπο συναρμολόγησης και στον τρόπο λειτουργίας του. Αποτελείται από 45 εκτυπώσιμα κομμάτια



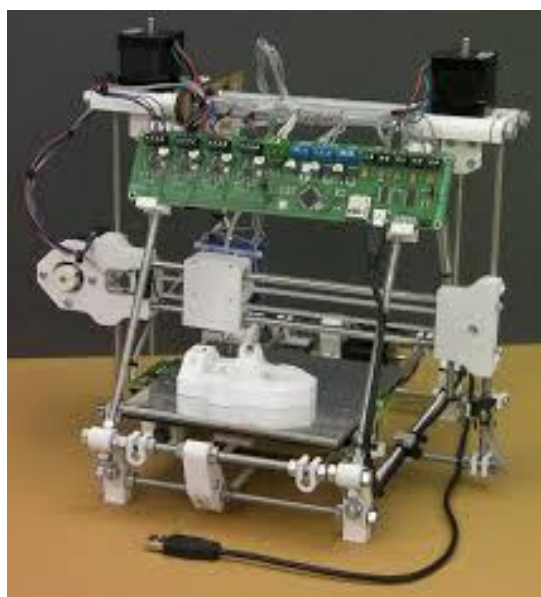
Εικόνα 2.4. Εκτυπωτής Prusa Mendel

Ο επόμενος εκτυπωτής στην λίστα είναι ο **RepRapPro Mendel** (Εικόνα 2.5) και αυτός ο εκτυπωτής είναι βασισμένος στον Mendel. Η μεγαλύτερη διαφορά τους είναι ότι έχει σχεδιαστεί για να φιλοξενεί από την αρχή πολλαπλούς extruders. Αυτή η προσθήκη επιτρέπει την έγχρωμη εκτύπωση αλλά και την εκτύπωση με διάφορα υλικά.



Εικόνα 2.5. Εκτυπωτής RepRapPro Mendel

Ακόμα ένας εκτυπωτής βασισμένος στον Mendel είναι ο **RepRapPro Huxley** (Εικόνα 2.6). Η ιδιαιτερότητα αυτού του εκτυπωτή είναι στο μέγεθος του. Είναι ο μικρότερος εκτυπωτής και κατασκευάστηκε για να είναι φορητός και συναρμολογείται γρήγορα.



Εικόνα 2.6. Εκτυπωτής RepRapPro Huxley

Τελευταίος στην λίστα είναι ο **Eventorbot** (Εικόνα 2.7). Είναι ένας εκτυπωτής ο οποίος είναι πολύ διαφορετικός από τους παραπάνω σε σχέση με το σχήμα του. Η ιδιαιτερότητα του είναι στον σκελετό του. Η λογική για την κατασκευή του ήταν να δημιουργηθεί ένας άκαμπτος, χαμηλού κόστους τρισδιάστατος εκτυπωτής με την χρησιμοποίηση λιγότερων εξαρτημάτων, εύκολος στην συναρμολόγηση και να είναι σε θέση να αυτοαναπαράγει τα τμήματά του. Το 80% των τμημάτων του είναι εκτυπώσιμα. Με τον σκελετό του που είναι από χάλυβα δίνεται η δυνατότητα να

χρησιμοποιηθούν 40% λιγότερα επιμέρους εξαρτήματα και έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους κατασκευής του.



Εικόνα 2.7. Τρισδιάστατος εκτυπωτής Eventorbot

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας 1 που αναλύει τα χαρακτηριστικά των παραπάνω εκτυπωτών καθώς και των διαφορών τους .

Όπως παρατηρείται με βάση τα χαρακτηριστικά των εκτυπωτών που φαίνονται στον πίνακα, με την πάροδο του χρόνου γίνεται προσπάθεια να μικρύνει το μέγεθος, το βάρος καθώς και τα εκτυπώσιμα κομμάτια που χρησιμοποιούνται χωρίς όμως να επηρεάζεται ο χώρος εκτύπωσης.

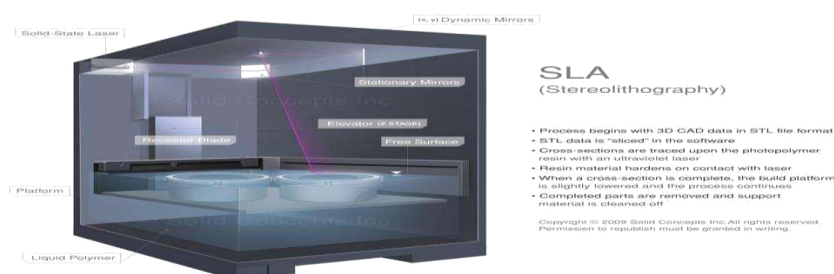
Όνομα Εκτυπωτή	Όγκος Εργασίας	Υλικό Εργασίας	Σύνδεση με υπολογιστή	Συνολικό Μέγεθος	Εκτυπώσιμα Κομμάτια	Ακρίβεια Θέσης	Extruders	Βάρος
Darwin	230mm (X) x 230mm (Y) x 100mm (Z)	PLA	USB	600 mm x 520 mm x 650 mm	110	0.1 mm	1	14 Kg
Mendel	200 mm (W) x 200 mm (D) x 140 mm (H)	PLA, ABS	USB	500 mm x 400 mm x 60 mm	102	0.1 mm	1	7 Kg
Prusa Mendel	200mm x 200mm x 100mm	PLA, ABS	USB	440 mm x 470 mm x 370 mm	45	0.1 mm	1	5 kg
RepRapPro Mendel	200mm x 200mm x 100mm	PLA, ABS	USB	440 mm x 470 mm x 370 mm	45	0.1 mm	2	7 Kg
RepRapPro Huxley	140mm x 140mm x 110mm	PLA, ABS	USB	260 mm x 280 mm x 280 mm	30	0.1mm	1	5 kg
Eventorbot	152mm x 152mm x 152mm	PLA, ABS	PLA, ABS	419 mm x 406,5 mm x 350 mm	37	0.1 mm	1	15 kg

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά Τρισδιάστατων Εκτυπωτών

2.6. Τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης

Οι τεχνολογίες ταχείας προτυποποίησης, που είναι διαθέσιμες στην αγορά μέχρι σήμερα, περιλαμβάνουν έξι βασικές τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης:

- Στερεολιθογραφία
- Επιλεκτική σύντηξη με την χρήση ακτινών λέιζερ
- Παραγωγή αντικείμενων μέσω συγκόλλησης λεπτών φύλλων
- Κατασκευή μοντέλων μέσω εναπόθεσης διαδοχικών στρώσεων
- Τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης μέσω ink-jet τεχνολογίας



Εικόνα 2.8. Στερεολιθογραφία

Η στερεολιθογραφία αποτελεί την παλαιότερη τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης, η οποία εφευρέθηκε το 1984 από τον Charles Halls και κατοχυρώθηκε το 1986. Χάρη στην συγκεκριμένη τεχνική κατασκευάζονται τρισδιάστατα αντικείμενα από υγρά φωτοευαίσθητα πολυμερή τα οποία στερεοποιούνται όταν εκτεθούν σε υπεριώδη ακτινοβολία (Εικόνα 2.8.).

2.7. Παρουσίαση και χρήση των extruder στους τρισδιάστατους εκτυπωτές

Η τρισδιάστατη εκτύπωση λαμβάνει τη μορφή επιτραπέζιων μηχανών που χρησιμοποιούν τη διαδικασία γνωστή ως FDM (Fused Deposition Modeling)

Με λίγα λόγια, το FDM περιλαμβάνει ένα νήμα από πλαστικό υλικό το οποίο τροφοδοτείται σε ένα θερμαινόμενο μεταλλικό μπλοκ με ένα ακροφύσιο το οποίο στη συνέχεια τήκεται και εξωθείται σε μια προκαθορισμένη διάταξη. Αυτή η ιχνηλατημένη διαδρομή επαναλαμβάνεται, στοιβάζοντας σταδιακά έως ότου σχηματιστεί ένα

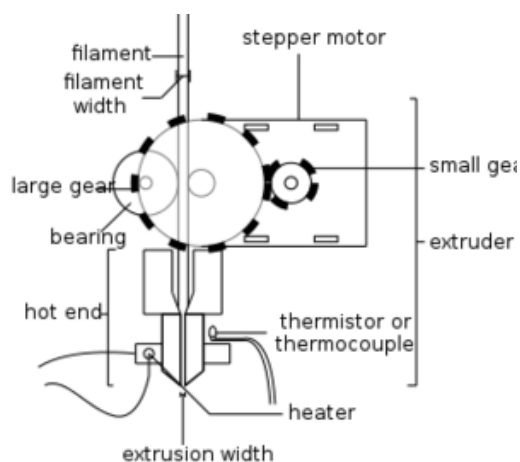
συμπαγές τρισδιάστατο αντικείμενο. Όλο το μέρος αυτό του χειρισμού όπου το υλικό λιώνει και έπειτα ρίχνεται σε μια επιφάνεια, συμβαίνει σε μια συνάθροιση διαφορετικών τμημάτων όπου ονομάζονται extruder (Εικόνα 2.9.) .



Εικόνα 2.9. Εικόνα extruder από την οικογένεια εκτυπωτών RepRap

Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής είναι μια σειρά από μέρη όπου μαζί χειρίζονται την επεξεργασία και την κίνηση των πλαστικών νημάτων.

Ο extruder χωρίζεται στο ψυχρό άκρο και στο θερμό άκρο (Εικόνα 2.10). Το ψυχρό άκρο αναφέρεται στο ανώτερο τμήμα του συστήματος εξώθησης του τρισδιάστατου εκτυπωτή όπου το νήμα τροφοδοτείται και μετά περνάει κατά μήκος στο θερμό άκρο για την τήξη και την εξώθηση στη κλίνη εκτύπωσης.



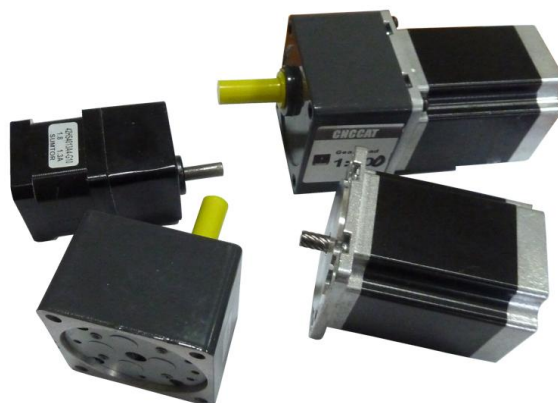
Εικόνα 2.10. Απεικόνιση του ψυχρού και του θερμού άκρου

2.7.1. Ψυχρό άκρο extruder

Στη βάση του το ψυχρό άκρο αποτελείται από ένα βηματικό μοτέρ, ένα οδοντωτό τροχό, ένα οδοντωτό μπουλόνι ή γρανάζι και ένα ελατηριωτό βραχίονα που συγκρατεί το νήμα και στη συνέχεια μια σωλήνωση τύπου PTFE για να καθοδηγήσει το νήμα.

Ο βηματικός κινητήρας οδηγεί την κίνηση και την εξώθηση στους περισσότερους επιτραπέζιους τρισδιάστατους εκτυπωτές.

Οι βηματικοί κινητήρες είναι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτες που επιτυγχάνουν υψηλό επίπεδο ακρίβειας σε μικρές κινήσεις και προσδίδουν πλήρη ροπή σε χαμηλές ταχύτητες (Εικόνα 2.11.).



Εικόνα 2.11. Βηματικοί κινητήρες

Ο βηματικός κινητήρας από μόνος του δεν είναι αρκετός για να τροφοδοτήσει το νήμα στο θερμό άκρο. Τα εξαρτήματα που είναι προσαρτημένα και λειτουργούν με τον κινητήριο άξονα του κινητήρα του βηματικού σώματος απαιτούνται για να αρπάξουν το νήμα και να το ωθήσουν κατά μήκος της διαδρομής τους προς το θερμό άκρο.

2.7.2. Θερμό άκρο extruder

Μέσα στο συγκρότημα που είναι γνωστό ως θερμό άκρο, το νήμα περνάει μέσα από ένα θερμαινόμενο θάλαμο οπού μεταβαίνει από στερεό σε υγρό. Πολλές φορές το

νήμα περνάει από ένα σωλήνα PTFE και άλλοτε συναντώνται μηχανήματα εξώθησης με άμεση κίνηση κατευθείαν στην κεφαλή εκτύπωσης.

Δεδομένου ότι οι χρήστες ασχολούνται με την ακρίβεια, το υλικό που μετατρέπεται σε υγρό για να επαναψυχθεί γρήγορα χρειάζεται σωστή διαχείριση της θερμοκρασίας.

Το ανώτερο τμήμα, το οποίο ψύχεται ενεργά από τον ψύκτη θερμότητας και έναν ειδικό ανεμιστήρα (ή σύστημα ψύξης νερού σε μερικές περιπτώσεις) εμποδίζει την διαφυγή θερμότητας από το θερμό άκρο και την αποδυνάμωση του νήματος προτού φτάσει στην θέση εξώθησης. Αυτό το ανεπιθύμητο φαινόμενο είναι γνωστό ως ολίσθηση της θερμοκρασίας.

Η θερμοκρασία για την τήξη του νήματος πρέπει να προέρθει από κάπου. Κάτω από ένα ηλεκτρικό ρεύμα, το φυσίγγιο του θερμαντήρα θερμαίνεται, μεταφέροντας τη θερμότητα στο ακροφύσιο μέσω του μπλοκ θερμάστρας όπου και τα δυο είναι εγκλεισμένα (Εικόνα 2.12.).



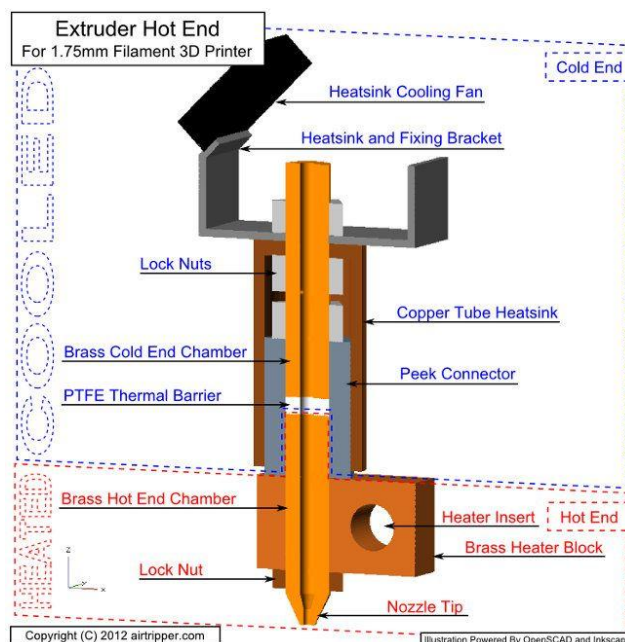
Εικόνα 2.12. Απεικόνιση του θερμού άκρου ενός extruder

Οι αντιστάσεις ισχύος είναι ένα εναλλακτικό μέσο για τη θέρμανση του θερμού άκρου αλλά είναι λιγότερο συχνές πλέον.

Τοποθετημένο μέσα στο μπλοκ είναι ένα θέρμιστορ – ένας μικρός αισθητήρας που μεταδίδει τη θερμοκρασία του μπλοκ στη βασική πλακέτα του τρισδιάστατου εκτυπωτή, επιτρέποντας έτσι τη σωστή ρύθμιση (Εικόνα 2.13.).

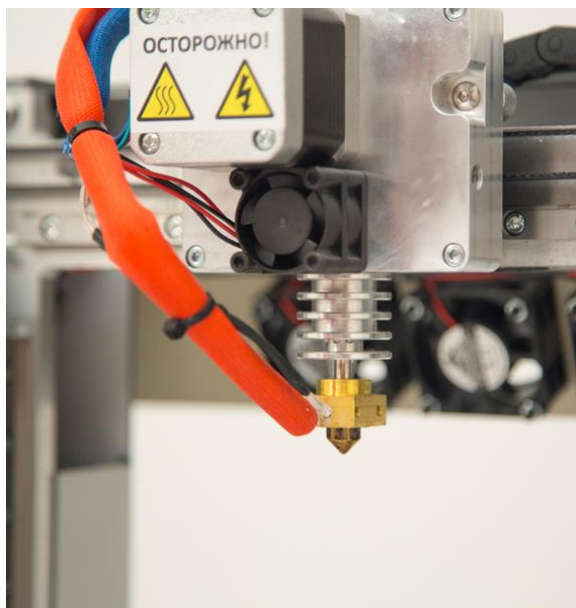
Τέλος, στη άκρη του συστήματος υπάρχει ένα ακροφύσιο. Ένα μικρό πέλμα από κατεργασμένο μέταλλο. Το ακροφύσιο αποτελείται από ένα θάλαμο, όπου βρίσκεται

το λιωμένο νήμα, που κλείνει προς το άνοιγμα του ακροφυσίου. Το εν λόγω άνοιγμα είναι μια ακριβής διάμετρος η οποία είναι το κριτήριο με το οποίο αγοράζεται το ακροφύσιο (π.χ. 0,4 mm).



Εικόνα 2.13. Αναλυτική απεικόνιση των μερών του θερμού άκρου

Σύνηθες προτιμώμενο υλικό για το ακροφύσιο είναι ο ορείχαλκος ο οποίος προτιμάται κυρίως για μαλακά υλικά διότι στη χρήση σκληρότερων υλικών φθείρεται γρήγορα (Εικόνα 2.14.). Για σκληρότερα υλικά προτιμάται ανοξείδωτος χάλυβας ή και ρουμπίνι.



Εικόνα 2.14. Κεφαλή 3D εκτυπωτή με ακροφύσιο από ορείχαλκο

2.8. Παρουσίαση υλικών στη τρισδιάστατη εκτύπωση

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία υλικών και πληθώρα χρωμάτων προς επιλογή για την τρισδιάστατη εκτύπωση. Για παράδειγμα, η ProtoCycler, ανακάλυψε την ικανότητα για άλεσμα, εξώθηση και τρισδιάστατης εκτύπωσης με ανακυκλώσιμες κούπτες καφέ.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές μπορούν να εκτυπώνουν σε μια ποικιλία υλικών. Υπάρχει η δυνατότητα εκτύπωσης χρησιμοποιώντας υλικά από μέταλλο, άμμο, σοκολάτα, αλάτι και μια ποικιλία από άλλα ασυνήθιστα υλικά αλλά πρέπει πάντα να αξιολογούνται οι επιλογές αναφορικά με τις ιδιότητες των υλικών.

ABS	33 MPa (4,700 psi)
Nylon	48 MPa (7,000 psi)
PLA	50 MPa (7,250 psi)
PC	68 MPa (9,800 psi)
PEI	81 MPa (11,735 psi)

Πίνακας 2.2. Σύγκριση υλικών αναφορικά με την αντοχή τους στον εφελκυσμό

Ένα κριτήριο μπορεί να είναι η αντοχή εφελκυσμού η οποία αναφέρεται στο πόση πίεση ένα υλικό μπορεί να αντέξει προτού σπάσει (Πίνακας 2.2.). Παρόλα αυτά, η αντοχή εφελκυσμού ίσως να μην είναι η μοναδική πρόβλεψη αναφορικά με την αντοχή καθώς εξαρτάται από το αντικείμενο που εκτυπώνεται τρισδιάστατα. Ενώ κάποια υλικά έχουν αντοχή εφελκυσμού, είναι αναγκαίο οι χρήστες να αντιληφθούν την γενικότερη εικόνα και να λάβουν επίσης υπόψη την σκληρότητα και την θερμοκρασία τήξης (Πίνακας 2.3.).

Πολλά υλικά έχουν υψηλά ποσοστά αντοχής εφελκυσμού, όπως το γυαλί ή το ασάλι, αλλά στερούνται την ανθεκτικότητα που υπάρχει σε άλλα υλικά όπως το αλουμίνιο το οποίο και δεν θα κομματιαστεί ή λυγίσει στις περισσότερες περιπτώσεις. Ένα πολύ καλό παράδειγμα αποτελεί η ανθεκτικότητα και η σκληρότητά τους ακόμη και σε σφαίρες.

Κατόπιν έρχονται οι θερμοκρασίες τήξης. Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η απόκλιση θερμότητας η οποία αποτελεί δείκτη ως προς σε ποια θερμοκρασία ένα υλικό λιώνει για να παραμορφωθεί σε μία συγκεκριμένη προδιαγραφή, κυρίως στη χρήση της μορφοποίησης με λιωμένη απόθεση (FDM).

	Tensile strength	Toughness (IZOD notched impact)	Heat Deflection Temperature
ABS	33 MPa (4,700 psi)	106 J/m	204 °F
Nylon	48 MPa (7,000 psi)	200 J/m	207 °F
PLA	50 MPa (7,250 psi)	80 J/m	150 °F
PC	68 MPa (9,800 psi)	53 J/m	280 °F
PEI	81 MPa (11,735 psi)	41 J/m	415 °F

Πίνακας 2.3. Σύγκριση των υλικών αναφορικά με την αντοχή τους στον εφελκυσμό, την σκληρότητα τους και την θερμοκρασία τήξης τους

Καθώς η τρισδιάστατη εκτύπωση αρχίζει να αποκτά όλο και περισσότερους θαυμαστές και αίγλη και η αγορά υλικών και αξεσουάρ μεγαλώνει θεαματικά, οι χρήστες πρέπει να κινούνται όλο και πιο στρατηγικά στο χώρο της αντοχής, της ανθεκτικότητας, των διαφορών θερμοκρασιών και πως αυτά ανταποκρίνονται και δουλεύουν καλύτερα βάσει του εκάστοτε τρισδιάστατου εκτυπωτή και της συγκεκριμένης εφαρμογής.

2.8.1. Υλικό ABS

Το πλαστικό υλικό ABS αποτελεί την πρώτη ύλη των τρισδιάστατων εκτυπωτών όμως δεν είναι εφικτή η χρήση του υπό μορφή pellet και απαιτείται διαδικασία συρματοποίησης ώστε να αποκτήσει τη μορφή νήματος (Εικόνα 2.15.).

Η ολοένα και συχνότερη χρήση των τρισδιάστατων εκτυπωτών είτε για επαγγελματική είτε για ερασιτεχνική χρήση, έχει επιφέρει την ανάγκη για να ζητήσει πλαστικού νήματος μειωμένου κόστους.



Εικόνα 2.15. Το υλικό ABS σε μορφή νήματος

Το ABS έχει υψηλότερο σημείο τήξης από άλλα νημάτια και απαιτεί μια θερμαινόμενη πλάκα κατασκευής για την αποφυγή στρέβλωσης. Είναι επίσης ελαφρώς πιο στιβαρή από το PLA, οπότε αν επιθυμείτε στιβαρότητα σε μια εκτύπωση, το ABS είναι ίσως η καλύτερη επιλογή. Η στιβαρότητα και η ανθεκτικότητα του δίνουν στην εκτύπωσή μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Βασικό ωστόσο μειονέκτημα είναι ότι έχει κακή αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία, οπότε δεν ενδείκνυται η χρήση της εκτύπωσης σε εξωτερικούς χώρους. Είναι επίσης γνωστό ότι το ABS εκπέμπει επιβλαβείς αναθυμιάσεις κατά την εκτύπωση, επομένως συνιστάται η χρήση ειδικού περιβλήματος και εξαερισμού.

Το πλαστικό υλικό ABS που χρησιμοποιείται ευρέως στους τρισδιάστατους εκτυπωτές είναι ένα κοινό θερμοπλαστικό. Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης είναι περίπου 105°C. Το ABS είναι άμορφο (Εικόνα 2.16.) και ως εκ τούτου δεν έχει κανένα πραγματικό σημείο τήξεως.



Εικόνα 2.16. Το υλικό ABS σε μορφή pellet

Το ABS είναι ένα τριπολυμερές που γίνεται με πολυμερισμό στυρόλιο και ακρυλονιτρίλιο παρουσία πολύ βουταδιένιο. Οι αναλογίες μπορούν να ποικίλουν από 15 έως 35% ακρυλονιτρίλιο, 5 έως 30% βουταδιένιο και 40 έως 60% στυρένιο. Το αποτέλεσμα είναι ένα μακράς αλυσίδας πολυβουταδιένιο. Η νιτρίλιο ομάδες από γειτονικές αλυσίδες έλκονται μεταξύ τους και δεσμεύουν τις αλυσίδες μαζί κάνοντας το ABS ισχυρότερο από το καθαρό πολυστυρόλιο. Το στυρένιο δίνει στο πλαστικό

μία λαμπερή αδιαπέραστη επιφάνεια. Το βουταδιένιο μία ελαστική ουσία παρέχει ελαστικότητα ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες.

2.8.2. Επιπλέον υλικά

PLA (πολυγαλακτικό οξύ)

Το PLA είναι κατασκευασμένο από βιολογικά υλικά, όπως το άμυλο καλαμποκιού, το ζαχαροκάλαμο και η ρίζα ταπιόκας, τα οποία το καθιστούν βιοδιασπώμενο. Όταν θερμαίνεται, εκπέμπει ένα γλυκό άρωμα που μυρίζει παρόμοια με το σιρόπι. Αντίθετα από το ABS, δεν εκπέμπει τοξικές αναθυμιάσεις, οπότε δεν χρειάζεται ειδικό περίβλημα. Σε γενικές γραμμές, το PLA είναι λιγότερο ιδιοσυγκρασιακό και απαιτεί μια χαμηλότερη θερμοκρασία εκτύπωσης από το ABS και δεν χρειάζεται θερμαινόμενη πλάκα κατασκευής. Η συγκόλληση των διαδοχικών στρωμάτων είναι πολύ δυνατή με το PLA, ωστόσο το ίδιο το υλικό είναι εύθραυστο και είναι πολύ πιθανό να σπάσει ή να ραγίσει σε περίπτωση πτώσης.

HIPS (πολυστυρένιο υψηλής επίδρασης)

Το HIPS χρησιμοποιείται κυρίως ως υλικό υποστήριξης για ABS και λειτουργεί σωστά όταν χρησιμοποιείται με FDM εκτυπωτή διπλής εξώθησης. Είναι ένα εξαιρετικό υλικό υποστήριξης επειδή διαλύεται εύκολα. Αυτό διευκολύνει την αφαίρεση των στηριγμάτων κατά τη διάρκεια της μετά-επεξεργασίας, αφήνοντας το χρήστη με μια «καθαρή» και ακριβή εκτύπωση. Αυτό είναι το ιδανικό υλικό για εκτύπωση σχεδίων με προεξοχές ή πολύπλοκα εξαρτήματα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σαν PLA από μόνο του, ως ένα υλικό γενικής χρήσης.

PET (τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο)

Το PET είναι τόσο εύκαμπτο και ανθεκτικό, γεγονός που το καθιστά ένα καλό υλικό για λειτουργικά ποιοτικά προϊόντα μηχανικής. Είναι χημικά ανθεκτικό και δεν απορροφά το νερό, όπως πολλά άλλα υλικά. Το PET έχει παρόμοιο εύρος τιμών με το PLA και το ABS και είναι μηχανικά παρόμοιο με το ABS, αν και μπορεί να εκτυπωθεί χωρίς θερμαινόμενη πλάκα κατασκευής και εξωθείται μεταξύ των 220-250 °C. Η συγκόλληση των στρώσεων είναι πολύ δυνατή, γεγονός που ευνοεί τη χρήση της σε μηχανικά μέρη, Creo και τεχνολογία που φοριέται.

Πρότυπη ρητίνη

Η τυπική ρητίνη είναι εξαιρετικό υλικό αν δημιουργείτε ένα πρωτότυπο ενός προϊόντος που δεν θα υποστεί έντονη πίεση από λειτουργική χρήση. Έρχεται σε διάφορα χρώματα και προσφέρει εκτυπώσεις με άψογο φινίρισμα λείας επιφάνειας. Εφόσον οι εκτυπωτές είναι σε θέση να παράγουν λεπτότερες λεπτομέρειες σε εξαρτήματα, αυτή η ρητίνη χρησιμοποιείται συνήθως από μηχανικούς ή σχεδιαστές που δίνουν προτεραιότητα στην εμφάνιση της εκτύπωσης παρά στη λειτουργία.

Σκληρή ρητίνη

Αυτή η ρητίνη είναι ειδικά κατασκευασμένη για ανθεκτικότητα και στιβαρότητα κρούσης. Όπως και το πλαστικό ABS, η σκληρή ρητίνη χρησιμοποιείται ιδανικά για λειτουργικά, μηχανικά εξαρτήματα. Μπορεί να αντέξει σε συνθήκες υψηλής πίεσης και τάσης στρέβλωσης πριν να υποστεί βλάβες.

PLA ινών άνθρακα

Το PLA ινών άνθρακα (Fibre Carbon) είναι δημοφιλές λόγω της υψηλής του στιβαρότητας και ανθεκτικότητας. Το νήμα από ανθρακονήματα της συνδυάζει PLA με 15% ίνες άνθρακα σε όγκο. Αυτό το νήμα έχει την τάση να είναι εύθραυστο, οπότε πρέπει ο χρήστης να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός κατά τον εφοδιασμό του εκτυπωτή. Η στιβαρότητά του είναι τέλεια για εκτύπωση drones, αυτοκινήτων τηλεχειρισμού, ελίκων και πλαισίων. Οι πρόσθετες ίνες άνθρακα στο νήμα προϋποθέτουν, για το βέλτιστο αποτέλεσμα, μεγαλύτερα μεγέθη ακροφυσίων, ξεκινώντας από το ενδεικτικό των 0,4 mm.

Εύκαμπτο νήμα (TPE και TPU)

Τα εύκαμπτα νημάτια είναι συνήθως κατασκευασμένα από πολυουρεθάνη ή πολυαιθυλένιο. Μπορεί να κάποιος να συναντήσει δυσκολίες κατά την εκτύπωση, καθώς το νήμα τείνει να λυγίζει στον εξωθητήρα, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει στρεβλώσεις στην εκτύπωση. Για καλύτερα αποτελέσματα συνιστάται η εκτύπωση με εξωθητήρα άμεσης κίνησης και με υψηλότερες θερμοκρασίες εξέλασης. Η επιβράδυνση των ταχυτήτων εκτύπωσης θα βοηθήσει επίσης στην αποφυγή των στρεβλώσεων.

Ευέλικτη ρητίνη

Η εύκαμπτη ρητίνη, επιτρέπει την εκτύπωση εύκαμπτων και λειτουργικών εξαρτημάτων. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για πρωτότυπα εργονομικών εφαρμογών, όπως χερούλια και λαβές κάθε είδους. Αν και οι περισσότεροι εκτυπωτές απαιτούν μερικές φορές ειδικά ακροφύσια για εκτύπωση ευέλικτου νήματος, οι εκτυπωτές ρητίνης δεν απαιτούν ειδικά πρόσθετα για εκτύπωση με εύκαμπτη ρητίνη.

Ρητίνη πλήρης θερμοκρασίας

Τα εργαστήρια μόλις έθεσαν σε κυκλοφορία ένα υλικό, το οποίο έχει θερμοκρασία θερμικής εκτροπής στους 289°C στα 45 MPa, το υψηλότερο μέγεθος θερμικής αντοχής στην αγορά σε αυτό το επίπεδο πίεσης. Αυτό το καθιστά το τέλειο υλικό για εφαρμογές που εκθέτουν την εκτύπωση σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως πρωτότυπα μούχλας, περιβαλλοντικές δοκιμές και ρευστοποιήσεις.

Ανθεκτική ρητίνη

Η ανθεκτική ρητίνη είναι ρητίνη χαμηλής τριβής και μεγάλης αντοχής στην κρούση, που προσιδιάζει στο πολυπροπυλένιο. Αυτό το υλικό είναι πολύ καλό για πρωτότυπα καταναλωτικών προϊόντων και εξαρτήματα που θα υποστούν φθορά, όπως σφαιρικές συνδέσεις και έδρανα.

Νήματα ξύλου

Τα νήματα όπως το Woodfill και το Laywood είναι κατασκευασμένα από έναν συνδυασμό εκχύλισης πλαστικού με ίνες ξύλου και πολυμερή συνδετικά, που του επιτρέπουν εξώθηση παρόμοια με το PLA. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει ένα εφέ καθαρών στρωμάτων σαν το πραγματικό ξύλο και επιτρέπει τη μίμηση μιας εμφάνισης και αίσθησης ξύλου στην εκτύπωση. Επειδή τα νήματα ξύλου είναι βασισμένα σε PLA, δεν απαιτούν θερμαινόμενη πλάκα κατασκευής για την εκτύπωση. Μπορεί εύκολα κάποιος να αλλάξει το χρώμα του νήματος αλλάζοντας τη θερμοκρασία.

Θερμοχρωμικό PLA

Αυτό το νήμα έχει την ιδιότητα να αλλάζει χρώμα με την έκθεση σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Διαφορετικές ποικιλίες φέρουν επίσης διαφορετικά χρώματα. Κάποια μετατρέπονται από μπλε σε πράσινο και άλλα από γκρι σε λευκό. Το νήμα βασίζεται σε υλικό PLA οπότε δεν απαιτεί θερμαινόμενη πλάκα κατασκευής. Υπάρχει ένα ακόμη νήμα με βάση το PLA, το οποίο αλλάζει χρώματα με την έκθεση στο φως. Το

Θερμοχρωμικό PLA έχει έναν αριθμό τακτικών εφαρμογών, από τη βιομηχανία κινητών τηλεφώνων μέχρι και καταναλωτικά προϊόντα.

Μέταλλο γεμισμένο PLA

Τα μεταλλικά νήματα είναι κατασκευασμένα συνδυάζοντας PLA με σκόνη μετάλλου. Τα τέσσερα πιο δημοφιλή μεταλλικά σύνθετα υλικά είναι ο μπρούτζος, ο χαλκός, ο χάλυβας και ο σίδηρος. Η μεταλλική σκόνη κάνει την εκτύπωση περίπου τέσσερις φορές βαρύτερο από το τυπικό PLA. Αν και έχει την εμφάνιση και την αίσθηση του μετάλλου όταν εκτυπωθεί, απαιτείται μετά-επεξεργασία για να επιτευχθεί ένα πλήρες αποτέλεσμα. Πριν από τη μετά-επεξεργασία, το μπρούτζινο PLA συνήθως έχει μια θαμπή, τραχιά εμφάνιση και ο στόχος είναι να φέρει χάλκινα σωματίδια στην επιφάνεια του αντικειμένου.

Αγώγιμο PLA

Το αγώγιμο PLA προσφέρει μια σειρά επιλογών για βασικές, χαμηλής τάσης εφαρμογές. Παραδείγματα εφαρμογών περιλαμβάνουν εργασίες με LED και Arduino. Γενικός κανόνας του αγώγιμου PLA είναι η επιτυχής χρήση του σε οποιαδήποτε εφαρμογή μπορεί να τρέξει μέσω μιας αντίστασης των 1000 Ω. Αν και το υλικό είναι ανθεκτικό, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για βαριές μηχανικές εφαρμογές. Το αγώγιμο PLA μπορεί συγκολληθεί σε εκτύπωση τυπικού PLA, που είναι πολύ χρήσιμο αν επιθυμείτε η εκτύπωση κυκλωμάτων πάνω σε μια κανονική εκτύπωση PLA.

Χυτευόμενη ρητίνη

Η χυτευόμενη ρητίνη χρησιμοποιείται για την κατασκευή καλουπιών επένδυσης χυτεύματος σε υψηλή λεπτομέρεια. Σχεδιάστε το μέρος σας στο CAD, εκτυπώστε το με ένα χυτευόμενο υλικό, και χρησιμοποιήστε αυτό το εκτυπωμένο μέρος στην χύτευση επένδυσης, όπως θα κάνατε με ένα μοντέλο κεριού. Οι εύκαμπτες ρητίνες καίγονται καθαρά αφήνοντας ελάχιστη τέφρα ή μικρά υπολείμματα, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για εξαρτήματα όπως κοσμήματα, μινιατούρες ή μικρά μηχανικά εξαρτήματα.

Κεραμική ρητίνη

Η κεραμική ρητίνη αποτελεί καλή επιλογή για καλλιτέχνες ή άτομα με εφαρμογές πολύ υψηλών θερμοκίνων απαιτήσεων. Η διαδικασία εκτύπωσης είναι παρόμοια με τις

άλλες ρητίνες, ωστόσο έχετε τη δυνατότητα να το πυρακτώσετε και να το γυαλίστε το στο τέλος της εκτύπωσης.

Βιοσυμβατή ρητίνη

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές βιοσυμβατές ρητίνες στην αγορά, με διαφορετικές πιστοποιήσεις. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία χειρουργικών οδηγών, αποκλειστικά για την επίτευξη αυξημένης ακρίβειας κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης και τη βελτιστοποίηση των κλινικών αποτελεσμάτων.

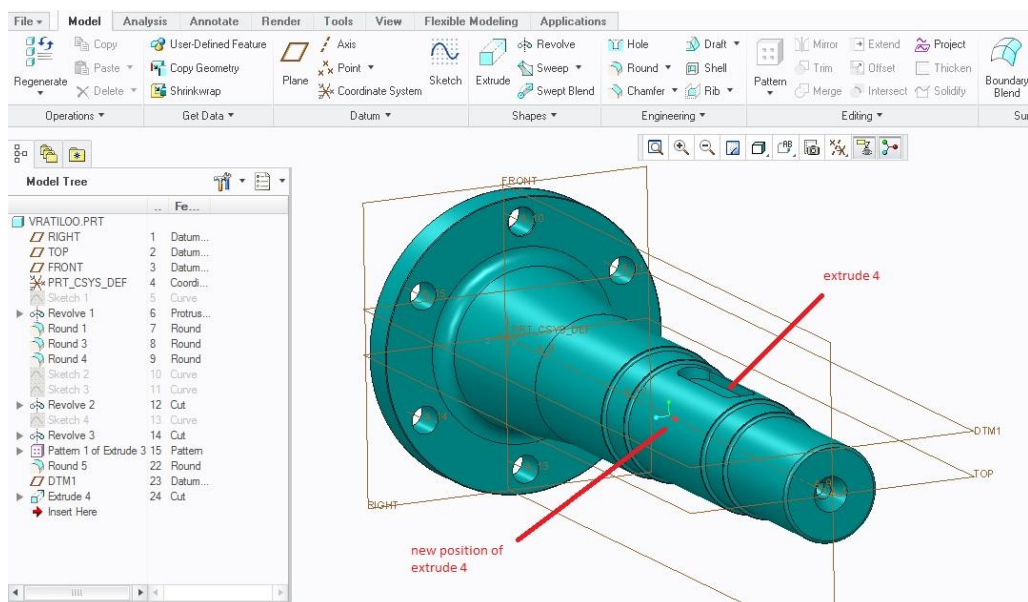
Κεφάλαιο 3 – Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της σχεδιομελέτης

3.1. Το λογισμικό Creo

Το Creo είναι ένα λογισμικό cad-cam που χρησιμοποιείται ευρέως για το σχεδιασμό και τη συναρμολόγηση προϊόντων.

Διαφέρει από το AutoCAD με τέτοιο τρόπο ώστε να βασίζεται σε παραμετρικές που σημαίνει ότι όλες οι διαστάσεις επηρεάζουν το πραγματικό μέρος. Για παράδειγμα, αν θεωρηθεί μια γραμμή γραμμένη στο AutoCAD και το Creo. Τώρα αν αλλαχθούν οι διαστάσεις της γραμμής τότε στο AutoCAD δεν θα επηρεάσει το σχέδιο αλλά στο Creo θα το επηρεάσει. Αυτό είναι το Parametric.

Το Creo είναι ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για το σχεδιασμό και τη συναρμολόγηση εξαρτημάτων.. Έχει ένα περιβάλλον προσιτό στους χρήστες από θέμα δυσκολίας και πολλές επιλογές όπου μπορεί κανείς, ανεξαρτήτως επιπέδου γνώσεων, να χρησιμοποιήσει.



Εικόνα 3.1. Εικόνα από το περιβάλλον του λογισμικού Creo parametric 2.0

Το Creo είναι μια οικογένεια σχεδιαστικού λογισμικού που υποστηρίζει το σχεδιασμό του προϊόντος για διακριτές κατασκευές και έχει αναπτυχθεί από την PTC.

Αποτελείται από εφαρμογές, όπου η κάθε μια προσφέρει μια ξεχωριστή σειρά από δυνατότητες στο χρήστη και μέσα ανάπτυξης του προϊόντος.

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, κάθε μία από τις οποίες παρέχει ένα ξεχωριστό σύνολο δυνατοτήτων στην ανάπτυξη προϊόντων

Το λογισμικό Creo τρέχει στα Microsoft Windows και παρέχει εφαρμογές για το 3D CAD, παραμετρική μοντελοποίηση 3D, άμεση μοντελοποίηση, 2D ορθογραφικές προβολές, ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων και προσομοίωση, σχηματική σχεδίαση, τεχνική εικονογράφησης για προβολή και απεικόνιση.

Το Creo parametric είναι ανταγωνιστικό άμεσα με τα προγράμματα CATIA, Siemens NX, SolidEdge και Solidworks.

3.2. Το λογισμικό Fusion 360

Το λογισμικό Fusion 360 χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή λόγω μιας από τις πολλές δυνατότητες που έχει, να βγάζει εξαιρετικές φωτογραφίες. Λόγω της δυνατότητας του αυτής επιλέχτηκαν κάποιες από τις φωτογραφίες κυρίως στο κεφάλαιο 4, ώστε να επεξεργαστούν σε αυτό το πρόγραμμα και να χρησιμοποιηθούν στη σχεδιομελέτη.

Το Fusion 360 είναι μια πλατφόρμα CAD που βασίζεται σε σύννεφο και είναι μια οικονομικά προσιτή και εξαιρετικά ικανή εναλλακτική λύση σε άλλους σημαντικούς παίκτες της βιομηχανίας.

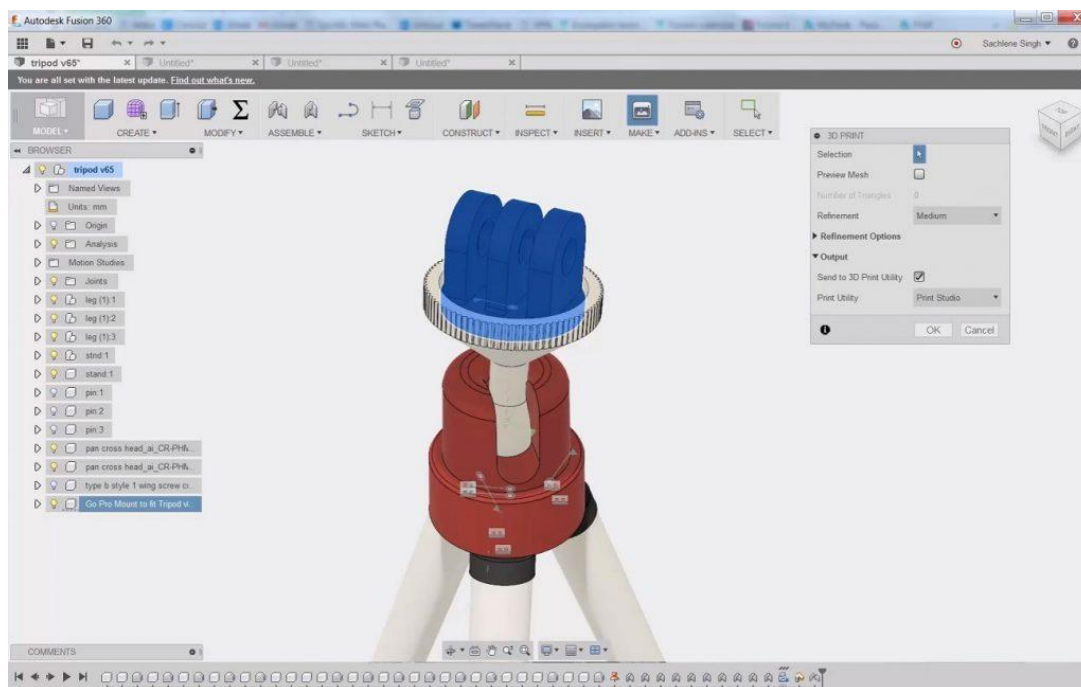
Είναι εύκολο στη χρήση και έχει όλα τα κοινά χαρακτηριστικά που μπορεί να περιμένει κανείς από δημοφιλή πακέτα CAD (Εικόνα 3.2.)

Το Fusion 360 κατασκευάστηκε από την αρχή ως μια ολοκληρωμένη λύση ανάπτυξης προϊόντων και έχει ως στόχο να προσφέρει μια απλή ροή εργασίας από τον σχεδιαστικό σχεδιασμό μέχρι την κατασκευή.

Το Fusion 360 έχει μια πολύ μεγάλη βάση γνώσεων που καλύπτει πλήρως όλα τα χαρακτηριστικά του λογισμικού, τα οποία μπορούν να προσεγγιστούν μέσω του Fusion 360 καθώς και μέσω της ιστοσελίδας της Autodesk . Υπάρχει επίσης ένα επίσημο κανάλι YouTube με πολλά δωρεάν μαθήματα.

Το λογισμικό λαμβάνει συχνές αναβαθμίσεις και νέα χαρακτηριστικά φθάνουν κάθε λίγους μήνες. Το Fusion 360 είναι ιδανικό για επιχειρήσεις με υψηλό κύκλο εργασιών καθώς και για νεοϊδρυόμενες εταιρίες που αναζητούν ένα επαγγελματικό εργαλείο για να τους φέρουν στην αγορά.

Το Fusion 360 μπορεί να πραγματοποιήσει λειτουργίες έντασης, όπως απόδοση, προσομοίωση, βελτιστοποίηση σχήματος και γενετική σχεδίαση. Αυτό σημαίνει ότι η εργασία μπορεί να συνεχιστεί ενώ όλη η βαριά ανύψωση γίνεται στο σύννεφο.



Εικόνα 3.2. Το περιβάλλον του λογισμικού Fusion 360 όπου απεικονίζεται ένα μηχανολογικό εξάρτημα

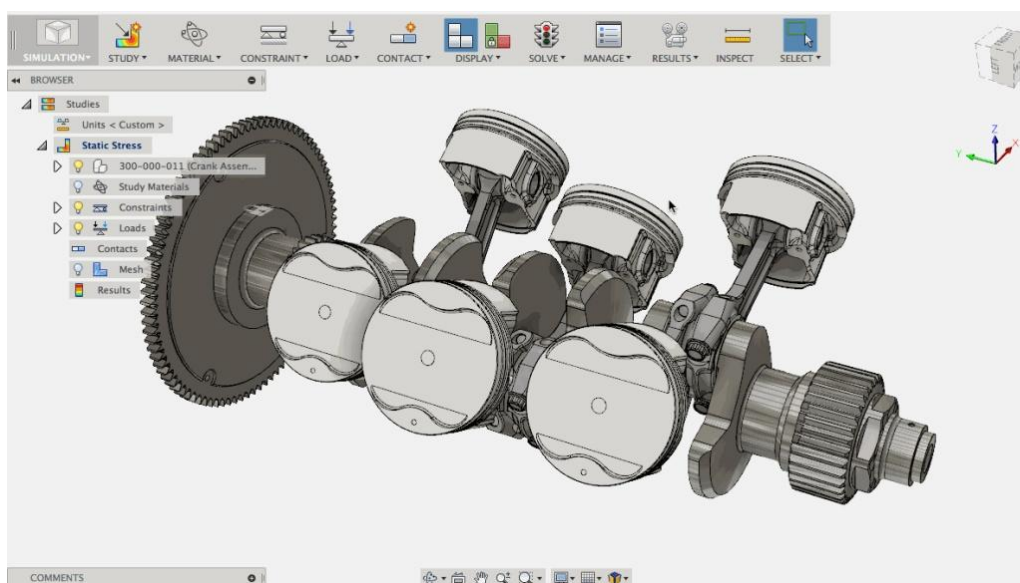
Το Fusion 360 είναι μια εξαιρετική επιλογή για τη δημιουργία μοντέλων για 3D εκτύπωση.

Επιτρέπει να δημιουργούνται όχι μόνο πρισματικά μοντέλα όπως γρανάζια ή αγκύλες, αλλά επίσης επιτρέπει να δημιουργούνται περισσότερα "βιολογικά" μοντέλα

χρησιμοποιώντας T-Splines, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτήρων, των φυτών και των οχημάτων.

Το Fusion 360 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί αντικείμενα για εκτύπωση 3D. Μπορεί επίσης ο χρήστης να φέρει μοντέλα από άλλο λογισμικό και να κάνει τροποποιήσεις, όπως η απενεργοποίηση τους, αφαιρώντας μικρά χαρακτηριστικά ή μείγματα.

Το Fusion 360 μπορεί να εξαχθεί ως μορφή αρχείου OBJ ή STL που διαβάζεται από τα περισσότερα λογισμικά εκτύπωσης 3D. Έχει επίσης τη δυνατότητα εκτύπωσης απευθείας στον εκτυπωτή. Το Fusion 360 επιτρέπει ακόμη και να επεξεργαστεί ο χρήστης δεδομένα mesh ή STL που προέρχονται από μια σάρωση με λέιζερ ή άλλη πηγή. Πριν από την εκτύπωση, μπορεί να μειώσει ή να αυξήσει κανείς την επιφάνεια, να επεξεργαστεί χαρακτηριστικά, να γεμίσει τρύπες κλπ.



Εικόνα 3.3. Σχέδιο εκκεντροφόρου άξονα στο λογισμικό Fusion 360

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Διαδικασία υλοποίησης της σχεδιομελέτης και αναφορά των δυσκολιών που αντιμετωπίστηκαν κατά την εκπόνηση της

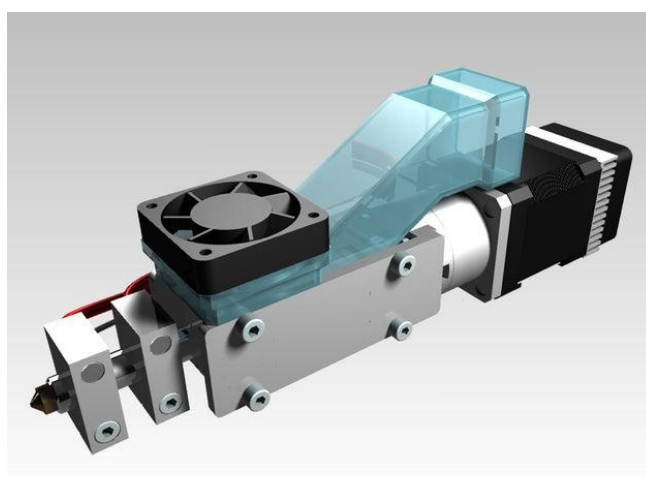
4.1. Υπάρχοντα μοντέλα 3D εκτυπωτών με χρήση masterbatch

Στην αγορά τα τελευταία χρόνια έχουν κυκλοφορήσει δύο μοντέλα 3D εκτυπωτών με χρήση masterbatch. Οι εκτυπωτές αυτοί είναι ο Universal Extruder Pellet και ο Direct3D pellet extruder οι οποίοι αναλύονται και παρουσιάζονται παρακάτω.

4.1.1. Universal Extruder Pellet

Ο Universal Extruder Pellet (UPE) είναι ένας απλός και συμπαγής εξωθητήρας για κάθε εκτυπωτή που μπορεί να τυπώσει βιομηχανική παραγωγή πλαστικών σφαιριδίων και ανακυκλωμένο πλαστικό (Εικόνα 4.1.).

Το σύστημα αυτό βασίζεται στον εξοπλισμό εξώθησης για τη βιομηχανία πλαστικών, ένας κοχλίας περιστρέφεται με βηματικό κινητήρα συμπιέζοντας τα κοκκία από τη χοάνη προς το ξενοδοχείο όπου λιώνει και το ακροφύσιο δημιουργεί το εκτυπώσιμο νήμα.



Εικόνα 4.1. Παρουσίαση Universal Extruder Pellet

4.1.2. Direct3D pellet extruder

Η εταιρεία Direct3D που ιδρύθηκε από τον Paolo Legnani και ξεκίνησε από το Μιλάνο, δημιούργησε και παρουσίασε ένα λειτουργικό εξωθητήρα σφαιριδίων για τρισδιάστατους εκτυπωτές οποιοδήποτε μεγέθους, τον Direct3D pellet extruder (Εικόνα 4.2.).

Ο ιταλικός κατασκευαστής τρισδιάστατων εκτυπωτών Kentstrapper εργάζεται ήδη για την υλοποίησή του στα δικά του συστήματα και ενώ η ανάλυση δεν ανταποκρίνεται στα πρότυπα του νήματος, είναι περισσότερο από αποδεκτή για την παραγωγή εξαρτημάτων χαμηλής αντοχής.



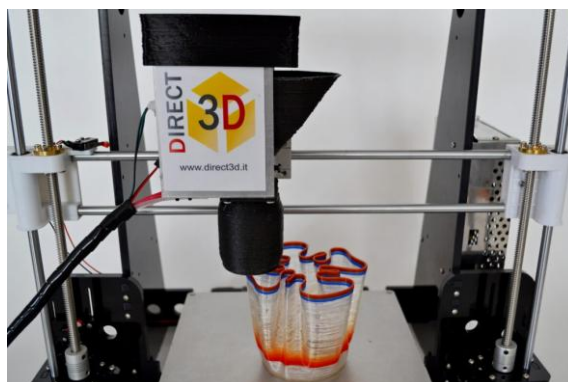
Εικόνα 4.2. Direct3D pellet extruder

Παρέχοντας μια επιλογή εξαιρετικά χαμηλού κόστους, ο εξωθητήρας σφαιριδίων είναι μικρός και ελαφρύς, με απόδοση μεταξύ 30 και 250 γραμμάρια ανά ώρα ανάλογα με την επιθυμητή ανάλυση και τα ακροφύσια. Αυτά είναι διαθέσιμα σε μεγέθη από 0,8 έως 2,5 mm.

Ο extruder Direct3D έχει δοκιμαστεί με τυπικά σφαιρίδια PLA, ABS, ακόμη και PP και μπορεί να διαχειριστεί με το πιο συνηθισμένο υλικολογισμικό (όπως το Marlin ή Repetier).

Ο extruder έχει αποδειχθεί συμβατός με τους Prusa, RepRap και πολλούς άλλους εκτυπωτές στην αγορά καθώς το σώμα είναι από αλουμίνιο και μπορούν εύκολα να τρυπηθούν οπές και να βιδωθούν στη βάση του εξωθητήρα του οποιοδήποτε εκτυπωτή. Μπορεί να χρειαστεί να δημιουργηθούν από τον αγοραστή

προσαρμοσμένα μέρη / διαχωριστικά για τέλεια εφαρμογή. Μπορεί επίσης να χρειαστεί να αλλάξουν κάποιες ρυθμίσεις του υλικολογισμικού, πχ παραμέτρους ρύθμισης PID, μοντέλο θερμοστάτη κτλ. Παρακάτω φαίνεται ο συγκεκριμένος extruder την ώρα της λειτουργίας (Εικόνα 4.3.).



Εικόνα 4.3. Ο Direct3D pellet extruder σε λειτουργία

4.2. Παρουσίαση του μοντέλου της σχεδιομελέτης και σύγκριση με τα υπάρχοντα μοντέλα

Στην παρούσα σχεδιομελέτη σχεδιάστηκε ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής χαμηλού κόστους με τροφοδοσία υλικού σε μορφή πλαστικών σφαιριδίων (masterbatch). Αυτό έγινε εφικτό καθώς δόθηκε βάση στην αρχή λειτουργίας των τρισδιάστατων εκτυπωτών με χρήση νήματος, την λειτουργία των εξωθητήρων (extruder) και των μερών που τους απαρτίζουν αλλά και λαμβάνοντας υπόψη τα ήδη υπάρχοντα μοντέλα που κυκλοφορούν στην αγορά.

Η σχεδίαση του τρισδιάστατου εκτυπωτή βασίστηκε στη βελτιστοποίηση των ήδη υπάρχοντων μοντέλων και είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός αξιόπιστου μηχανήματος με απλή και οικονομική κατασκευή και λειτουργία.

Η διαφοροποίηση από τα υπάρχοντα μοντέλα προέκυψε από τα μειονεκτήματα των μοντέλων αυτών. Στα ήδη υπάρχοντα μοντέλα Universal pellet extruder και Direct3d pellet extruder που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, παρατηρείται μια κατασκευή σύνθετη και κυρίως ασύμμετρη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στην εκτύπωση, στην κατασκευή και το κόστος κατασκευής.

Σε αυτού του είδους τους τρισδιάστατους εκτυπωτές με χρήση pellet, δίνεται βάση κυρίως στη κατασκευή του extruder. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι εκεί το υλικό επεξεργάζεται ώστε να φτάσει να γίνει δοκίμιο.

Στη παρούσα σχεδιομελέτη βελτιστοποιήθηκε η κατασκευή του extruder δίνοντας βάση στη συμμετρία και στην απλότητα του εξαρτήματος αυτού. Αυτό θα έχει μελλοντικά ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των προβλημάτων σχετικά με την εκτύπωση, την χρήση άλλα και τη κατασκευή.

Η κυριότερη διαφορά που έχει ο συγκεκριμένος extruder σε σχέση με τους υπόλοιπους είναι η κατασκευή του δοχείου υποδοχής του υλικού. Το δοχείο υποδοχής έχει τη λογική του χωνιού. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επεξεργάζεται μεγαλύτερη ποσότητα υλικού λόγω της γεωμετρίας του δοχείου και επίσης να μην μετατοπίζεται το κέντρο βάρους όσο υλικό και να προστεθεί για επεξεργασία. Ένα θετικό αποτέλεσμα που προκύπτει λόγω της μη μετατόπισης του κέντρου βάρους, είναι η σταθερότητα όλου του extruder που καταλήγει και σε υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας στην εκτύπωση

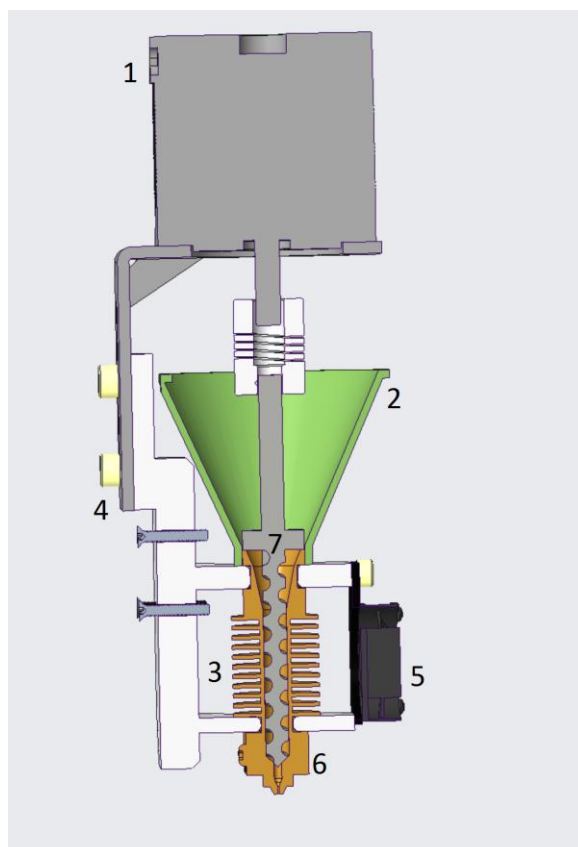
Η φιλοσοφία της επεξεργασίας του υλικού στον extruder της παρούσας σχεδιομελέτης είναι ίδια με την επεξεργασία υλικού στους προϋπάρχοντες extruder καθώς οι διαφορές εντοπίζονται στη διάταξη των εξαρτημάτων που αποτελούν τους extruder.

Στο universal pellet extruder παρατηρείται μία κάθετη διάταξη των εξαρτημάτων όπως και στον extruder της παρούσας σχεδιομελέτης με την διάφορα όμως ότι το δοχείο υποδοχής υλικού βγαίνει εκτός του άξονα συμμετρίας. Αυτό δημιουργεί προβλήματα στην ποσότητα του υλικού η οποία πρέπει να περιορισμένη ώστε να μην μετατοπίζεται το κέντρο βάρους.

Στον Direct3D pellet extruder παρατηρείται μια τελείως διαφορετική διάταξη. Το δοχείο υποδοχής υλικού είναι σαφώς μικρότερο άρα χωράει πολύ λιγότερο υλικό από τον extruder της παρούσας σχεδιομελέτης. Το δοχείο υποδοχής καθώς και όλο το ψυχρό άκρο είναι κλεισμένα μέσα σε ένα κουβούκλιο. Μέσα εκεί υπάρχει και το ανεμιστηράκι. Η θέση που έχει το ανεμιστηράκι βρίσκεται πάνω από την αντίσταση. Η θέση αυτή έχει ένα μειονέκτημα. Ενδέχεται να μην αντιμετωπίζεται εύκολα το φαινόμενο της υπερθέρμανσης.

4.3. Εξωθητήρας (extruder)

Ο extruder είναι το σημαντικότερο κομμάτι σε έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο extruder σε τομή. Σε αυτή την εικόνα φαίνεται η ακριβής δομή του, το είδος των εξαρτημάτων που τον απαρτίζουν καθώς και ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται όλα μαζί (Εικόνα 4.4.)

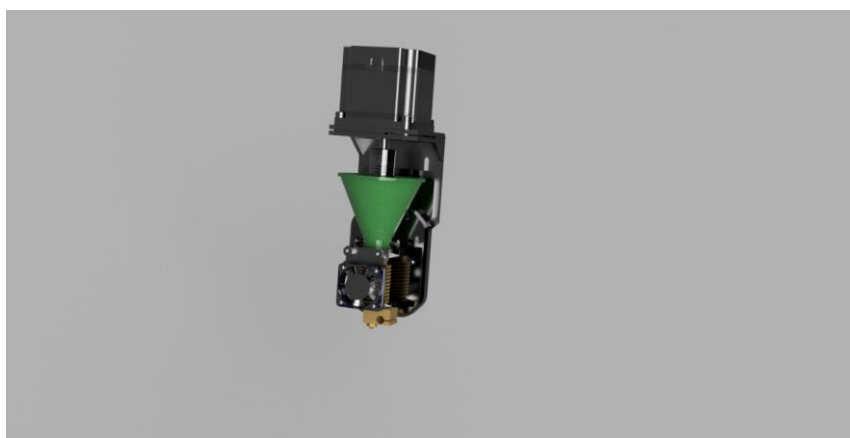


Εικόνα 4.4. Σχέδιο extruder σε τομή

Τα νούμερα που φαίνονται στη παραπάνω εικόνα αντιστοιχούν στα παρακάτω εξαρτήματα:

1. Βηματικός κινητήρας
2. Δοχείο υποδοχής υλικού
3. Αντίσταση
4. Βάση στήριξης
5. Ανεμιστήρας
6. Κεφαλή
7. Αντάπτορας

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.5.) φαίνεται η τελική μορφή του extruder με βάση τη παρούσα σχεδιομελέτη.

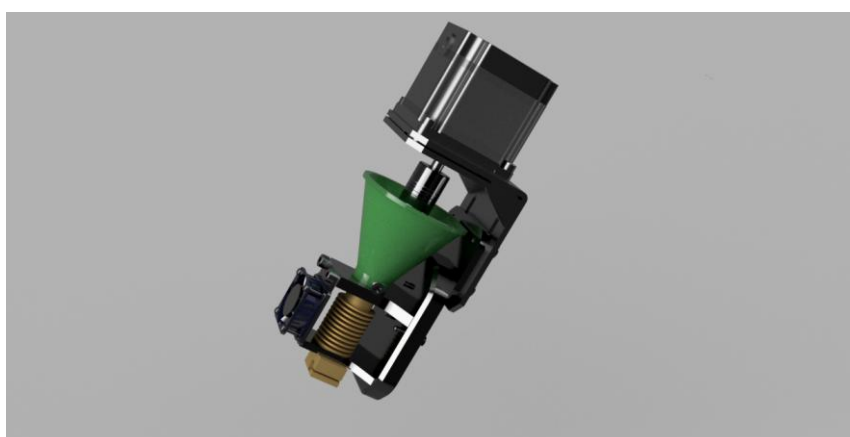


Εικόνα 4.5. Ο extruder σε πλήρη μορφή

4.3.1. Εξαρτήματα του extruder

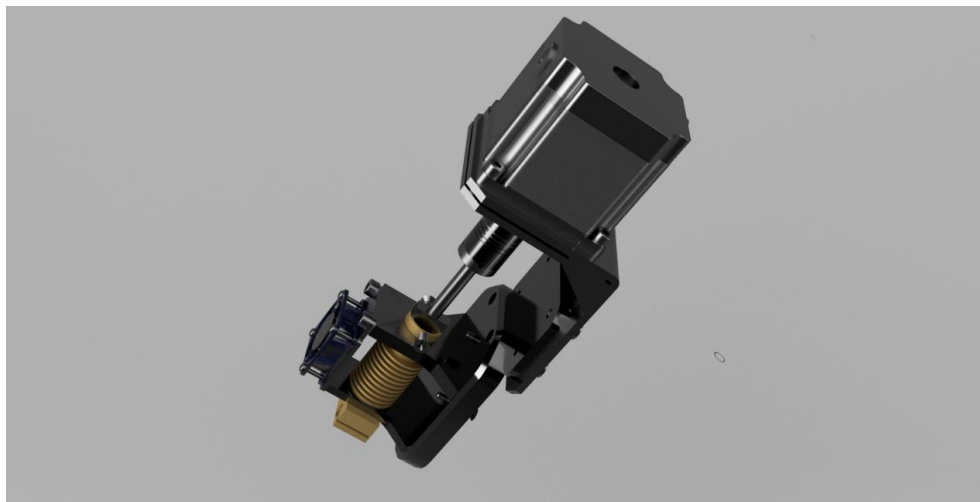
Ο extruder του τρισδιάστατου εκτυπωτή που σχεδιάστηκε στη παρούσα σχεδιομελέτη αποτελείται από εξαρτήματα τα οποία διαθέτουν οι κοινοί extruder οι οποίοι χρησιμοποιούν το υλικό σε μορφή νήματος.

Τα εξαρτήματα είναι ο βηματικός κινητήρας, η αντίσταση, η κεφαλή και το σύστημα ψύξης. Η δυνατότητα του συγκεκριμένου extruder να επεξεργάζεται το υλικό σε μορφή pellet τον κάνει να διαφέρει, καθώς για την επεξεργασία αυτή χρειάζονται κι άλλα εξαρτήματα. Τα εξαρτήματα αυτά είναι ένα δοχείο υποδοχής που μέσα θα τοποθετείται το υλικό, ένας άξονας που θα σπρώχνει το υλικό προς τα κάτω και ένας αντάπτορας που συνδέει τον άξονα με τον κινητήρα (Εικόνα 4.6.).



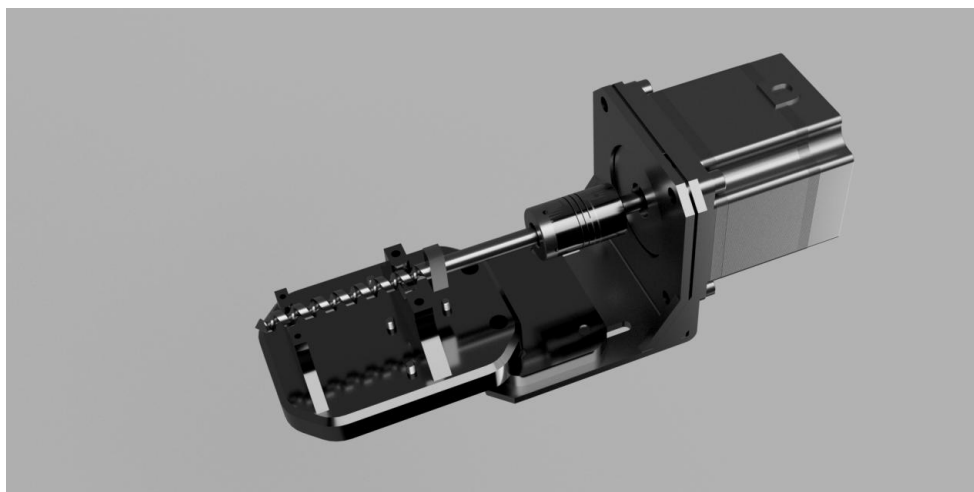
Εικόνα 4.6. Ο extruder σε πλήρη μορφή, σε πλάγια όψη

Σε σχέση με τους extruder αντίστοιχων εκτυπωτών με χρήση pellet στον συγκεκριμένο έχει δοθεί έμφαση στην τοποθέτηση των εξαρτημάτων συμμετρικά με βάση τον άξονα ο οποίος ωθεί το υλικό στο θερμό άκρο και την κεφαλή (εικόνα 4.7.).



Εικόνα 4.7. Extruder χωρίς το δοχείο

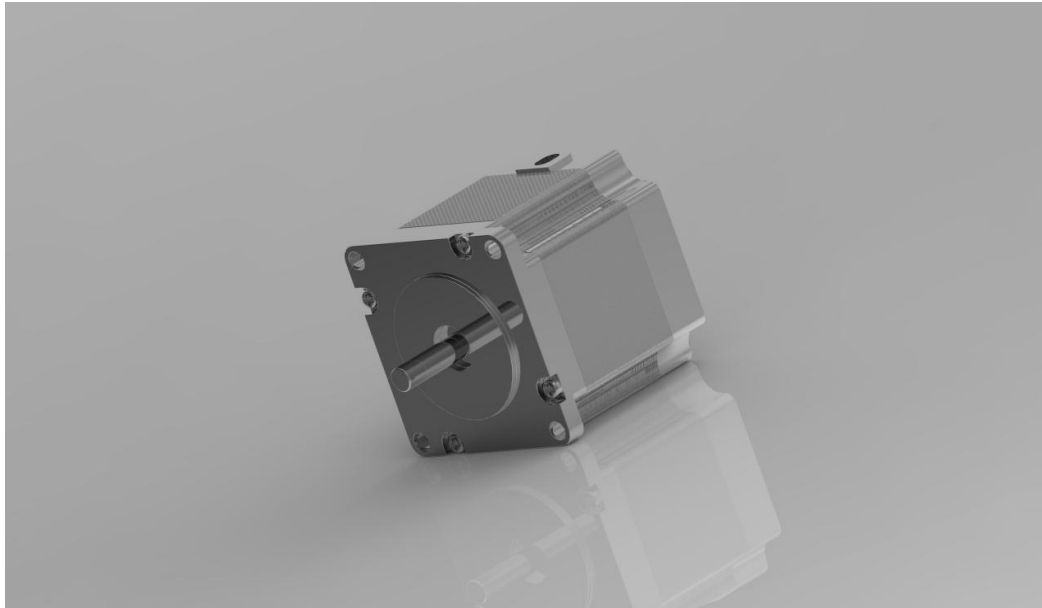
Ο άξονας είναι συνδεδεμένος με τον άξονα του μοτέρ μέσω ενός αντάπτορα. Το μοτέρ είναι τοποθετημένο πάνω στη βάση στήριξης (Εικόνα 4.8.).



Εικόνα 4.8. Η βάση στήριξης, ο αντάπτορας, ο κινητήρας και ο άξονας του extruder

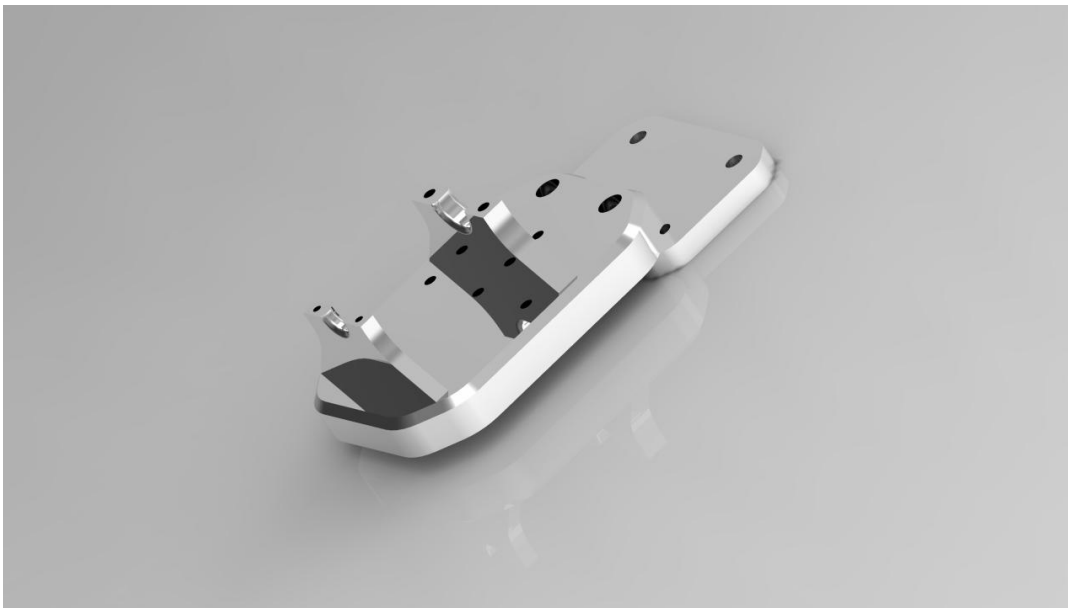
Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα μέρη που αποτελούν τον extruder.

Αρχικά γίνεται η παρουσίαση του βηματικού κινητήρα του extruder (Εικόνα 4.9.), στον οποίο γίνεται εκτενέστερη περιγραφή σε επόμενο υποκεφάλαιο.



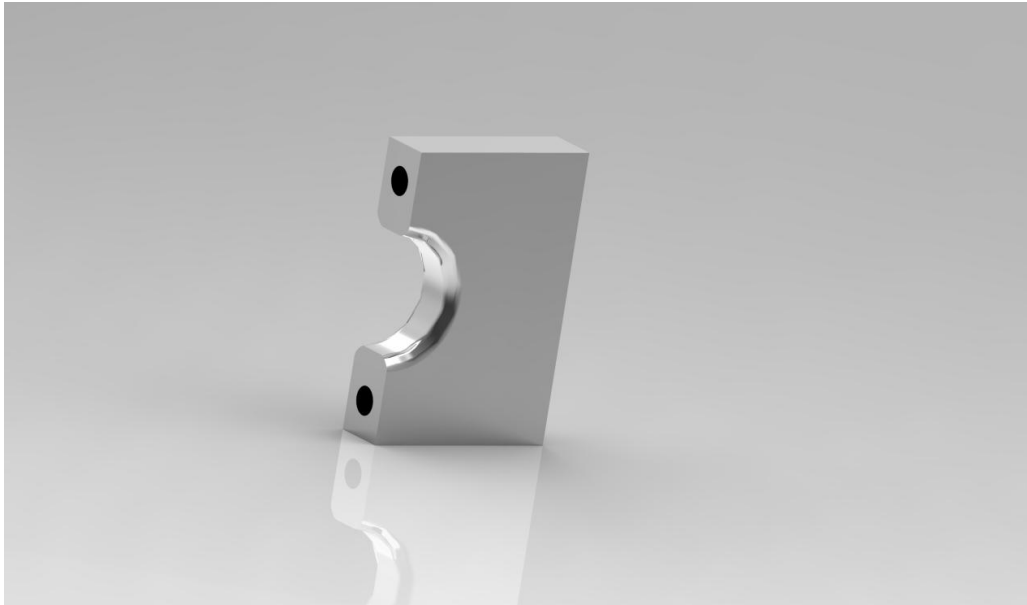
Εικόνα 4.9. Βηματικός κινητήρας του extruder

Όλα τα εξαρτήματα στηρίζονται στη βάση στήριξης που φαίνεται παρακάτω, η οποία είναι τοποθετημένη στους άξονες της κατεύθυνσης X (Εικόνα 4.10.).



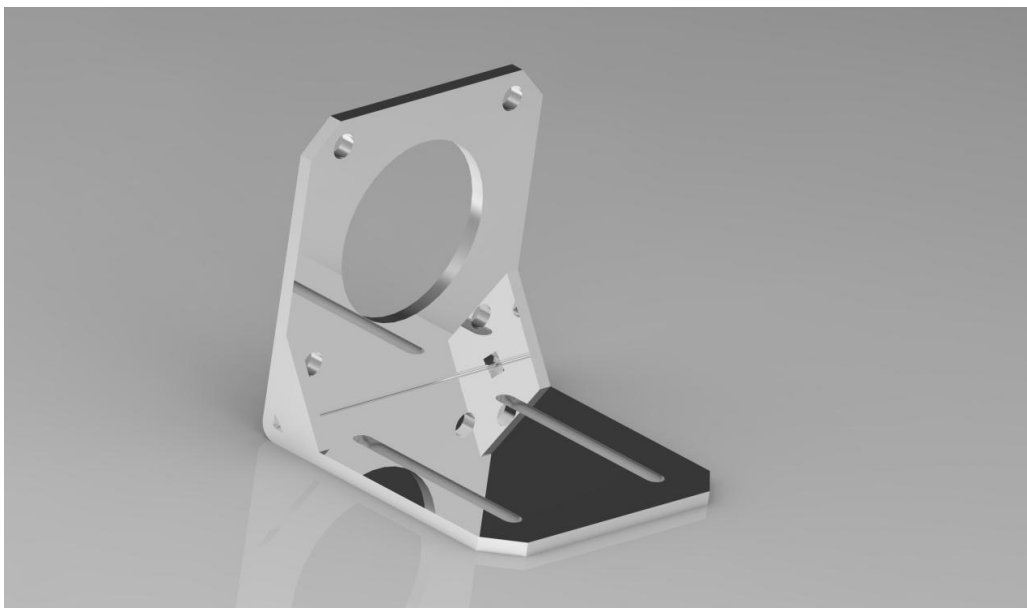
Εικόνα 4.10. Βάση στήριξης του extruder

Για να μπορέσουν τα εξαρτήματα να κουμπώσουν επάνω στη βάση χρησιμοποιούνται δύο από τα παρακάτω συνδετικά ελάσματα (Εικόνα 4.11.).



Εικόνα 4.11. Συνδετικό έλασμα που συγκρατεί το θερμό άκρο στη βάση στήριξης

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η βάση η οποία συμπληρώνει τη βάση στήριξης και στην οποία τοποθετείται ο κινητήρας (Εικόνα 4.12.).



Εικόνα 4.12. Βάση στήριξης του κινητήρα

Στον άξονα του κινητήρα τοποθετείται ένας αντάπτορας οποίος συνδέει τον κινητήρα με τον άξονα που ωθεί το υλικό στο θερμό άκρο (Εικόνα 4.13.)



Εικόνα 4.13. Αντάπτορας που συνδέει τον άξονα του κινητήρα με τον άξονα που σπρώχνει το υλικό

Το αμέσως επόμενο εξάρτημα μετά το κινητήρα που ευθύνεται για την προώθηση του υλικού στο θερμό άκρο είναι ο άξονας ο οποίος επιτυγχάνει την κίνηση χάρη στις αυλακώσεις που έχει (Εικόνα 4.14.)



Εικόνα 4.14. Άξονας οπού ωθεί το υλικό στο θερμό άκρο

Το δοχείο υποδοχής υλικού είναι το σημαντικότερο εξάρτημα του extruder διότι εκεί τοποθετείται το υλικό προς επεξεργασία (Εικόνα 4.15.). Το δοχείο αυτό έχει το σχήμα χωνιού.



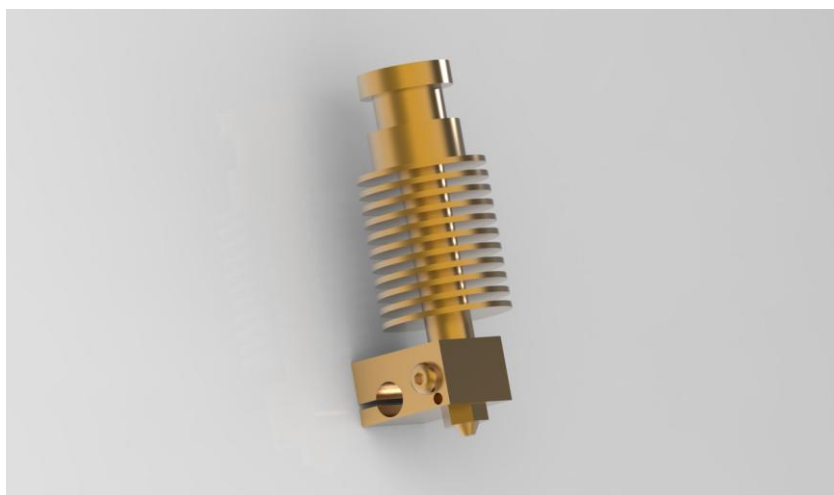
Εικόνα 4.15. Δοχείο υποδοχής υλικού (χωνί)

Για την αποφυγή της υπερθέρμανσης, κυρίως στο θερμό άκρο τοποθετείται ένα ανεμιστηράκι (Εικόνα 4.16.).



Εικόνα 4.16. Ανεμιστηράκι extruder

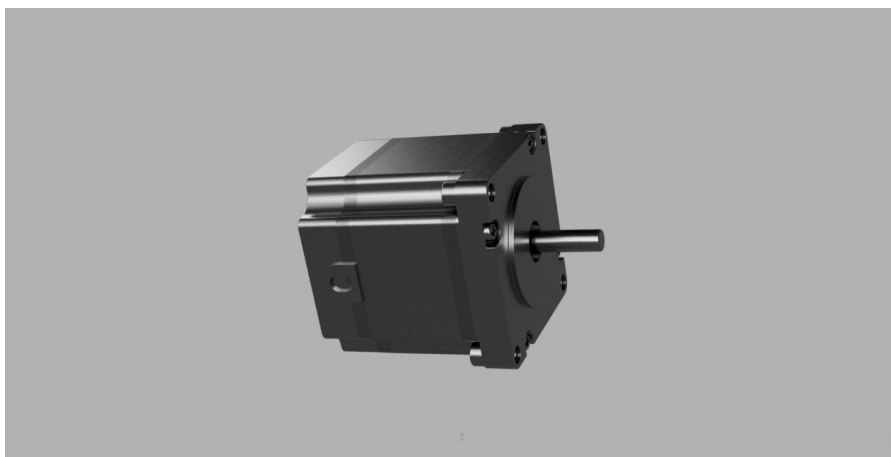
Παρακάτω φαίνονται η κεφαλή και η αντίσταση του extruder οι οποίες επιλέχτηκαν να είναι ορειχάλκινες (Εικόνα 4.17)



Εικόνα 4.17. Κεφαλή και αντίσταση του extruder

4.3.2. Κινητήρας extruder

Ο κινητήρας που χρησιμοποιήθηκε είναι βηματικός καθώς είναι η βέλτιστη επιλογή κινητήρα σε extruder τρισδιάστατων εκτυπωτών. Οι βηματικοί κινητήρες (stepper motor) είναι κινητήρες DC που κινούνται σε διακριτά βήματα. Έχουν πολλά πηνία που οργανώνονται σε ομάδες και ονομάζονται "φάσεις". Με την ενεργοποίηση κάθε φάσης σε σειρά, ο κινητήρας θα περιστραφεί, ένα βήμα κάθε φορά. Με έλεγχο μέσω υπολογιστή, μπορεί να επιτευχθεί ακριβής ρύθμιση θέσης και ταχύτητας. Για το λόγο αυτό, οι βηματικοί κινητήρες είναι ο κινητήρας της επιλογής για πολλές εφαρμογές ελέγχου ακριβείας (Εικόνα 4.18.). Οι βηματικοί κινητήρες κατασκευάζονται σε πολλά διαφορετικά μεγέθη, στυλ και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Δεδομένου ότι κινούνται σε ακριβή επαναλαμβανόμενα βήματα, υπερέχουν σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή κίνηση όπως τρισδιάστατοι εκτυπωτές.



Εικόνα 4.18. Ο κινητήρας του extruder

4.3.3. Αρχή λειτουργίας του extruder

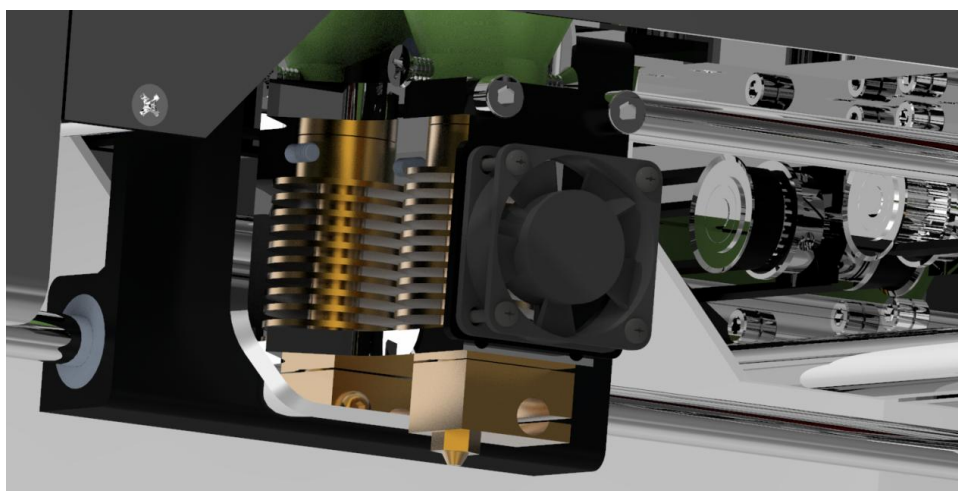
Παρακάτω παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας του extruder.

Στο δοχείο υποδοχής του υλικού τοποθετείται το υλικό με τη χρήση μιας σέσουλας ή ενός δοχείου.

Με τη βοήθεια του βηματικού κινητήρα ο άξονας ο οποίος είναι συνδεδεμένος πάνω του μέσω ενός αντάπτορα προωθεί το υλικό στη κεφαλή.

Στο σημείο που τελειώνει το δοχείο και ξεκινούν οι αυλακώσεις του άξονα υπάρχει μια αντίσταση η οποία τυλίγεται τριγύρω απ' αυτόν. Αυτό έγινε έτσι ώστε το υλικό, κατά τη διάρκεια της διαδρομής του, να θερμαίνεται και να λιώνει ομοιόμορφα χωρίς να υπάρχουν στερεά σημεία καθώς θα δημιουργούνταν προβλήματα στην ομαλή ροή της εκτύπωσης.

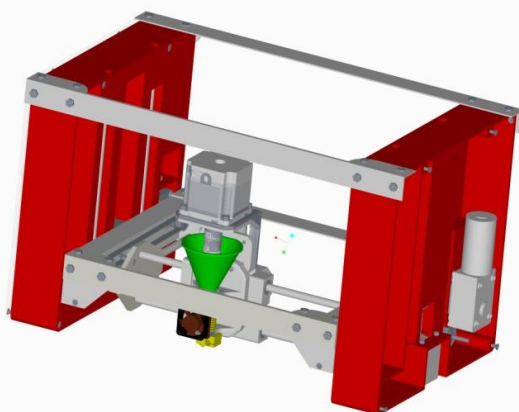
Ένα πρόβλημα το οποίο συναντάται παρουσία αντιστάσεων είναι η υπερθέρμανση η οποία μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική ρευστοποίηση του υλικού. Η υπερβολική ρευστοποίηση του υλικού δεν προτιμάται σε αυτές τις περιπτώσεις διότι το υλικό πρέπει να είναι παχύρευστο. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο της υπερθέρμανσης, απέναντι από την αντίσταση τοποθετήθηκε ένας ανεμιστήρας (Εικόνα 4.19.). Ο ανεμιστήρας κρατάει ολόκληρο το θερμό άκρο του extruder σε μια επιθυμητή θερμοκρασία.



Εικόνα 4.19. Ο ανεμιστήρας και η θέση στην οποία βρίσκεται

4.4. Το αρχικό σχέδιο

Για λόγους οικονομίας του εκτυπωτή τόσο σε επίπεδο κατασκευής όσο και σε επίπεδο αγοράς από τους καταναλωτές, αρχικά ο εκτυπωτής σχεδιάστηκε χωρίς επιφάνεια εκτύπωσης (Εικόνα 4.20.). Η ιδέα ήταν ότι ο εκτυπωτής θα τοποθετούνταν ολόκληρος πάνω σε μια οποιαδήποτε γυάλινη επιφάνεια είτε οικιακής, είτε εργαστηριακής χρήσης.



Εικόνα 4.20. Μορφή του αρχικού σχεδίου χωρίς επιφάνεια εκτύπωσης

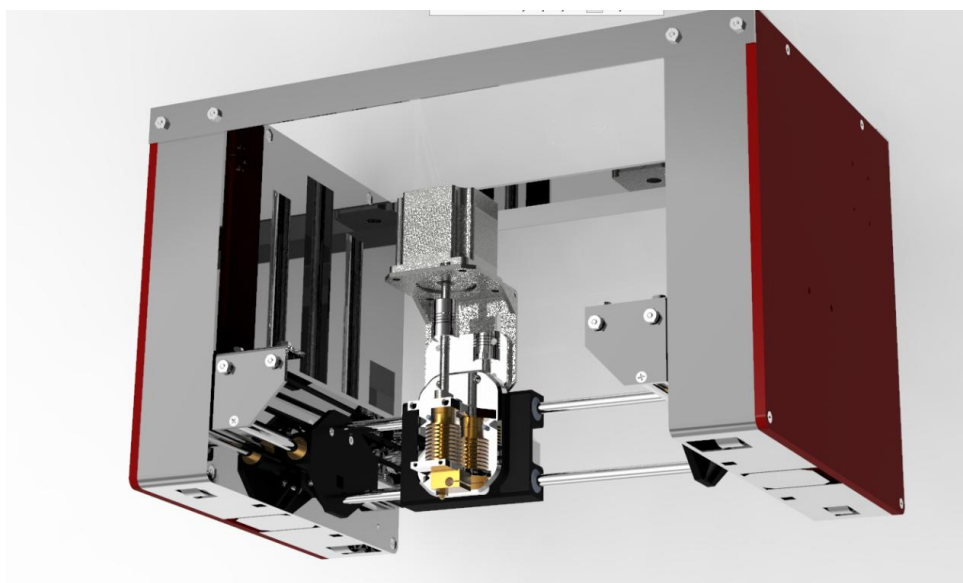
Αυτή η ιδέα είχε ως βασικό πλεονέκτημα ότι θα έριχνε το κόστος παραγωγής και κατά συνέπεια το κόστος αγοράς όμως θα ήταν απρόσιτη σε αρχάριους χρήστες καθώς θα απαιτούνταν ένα ανώτερο επίπεδο γνώσεων. Αυτό, σε συνδυασμό με την διαδικασία εύρεσης της γυάλινης επιφάνειας εκτύπωσης, θα είχε αρνητικό αντίκτυπο στη ζήτηση του προϊόντος.

Ο εκτυπωτής είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί και στους τρεις άξονες X, Y, Z λόγω της τοποθέτησης των κινητήρων στην κάτω μεριά του, που ελέγχουν την κάθετη κίνηση στον άξονα Z, όπως αυτό φαίνεται στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.21.).

Επίσης στην εικόνα 4.21. παρατηρούνται τέσσερα μικρά αντιολισθητικά ροδάκια.

Η ύπαρξη τους θα εξυπηρετούσε την εύκολη μετακίνηση του εκτυπωτή, όμως θα δημιουργούσε προβλήματα στη σταθερότητα του λόγω της ύπαρξης των κραδασμών

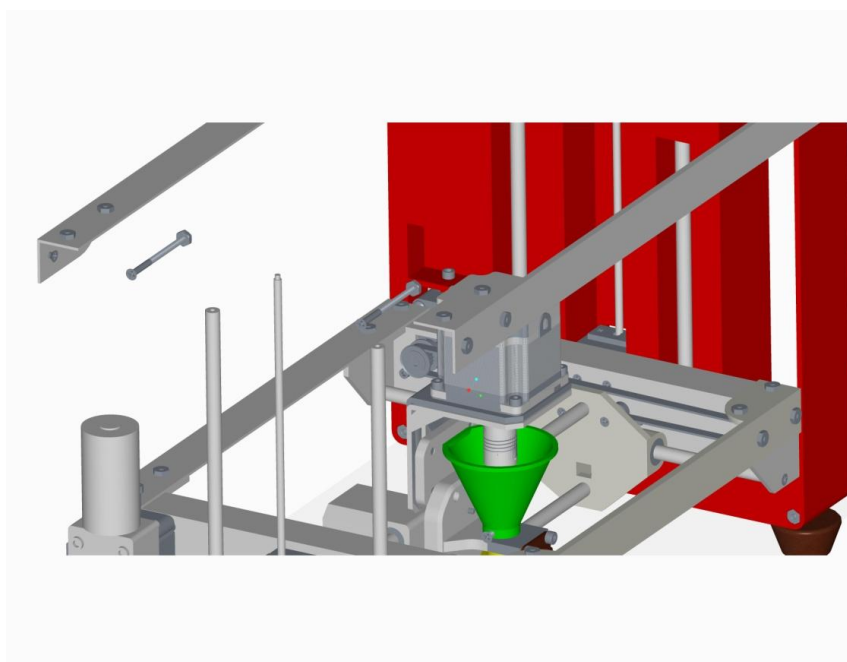
που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης. Κάτι τέτοιο θα επηρέαζε κατά πολύ την ακρίβεια του εκτυπωτή.



Εικόνα 4.21. Μορφή του σχεδίου χωρίς επιφάνεια εκτύπωσης κατά τη διάρκεια της σχεδίασης

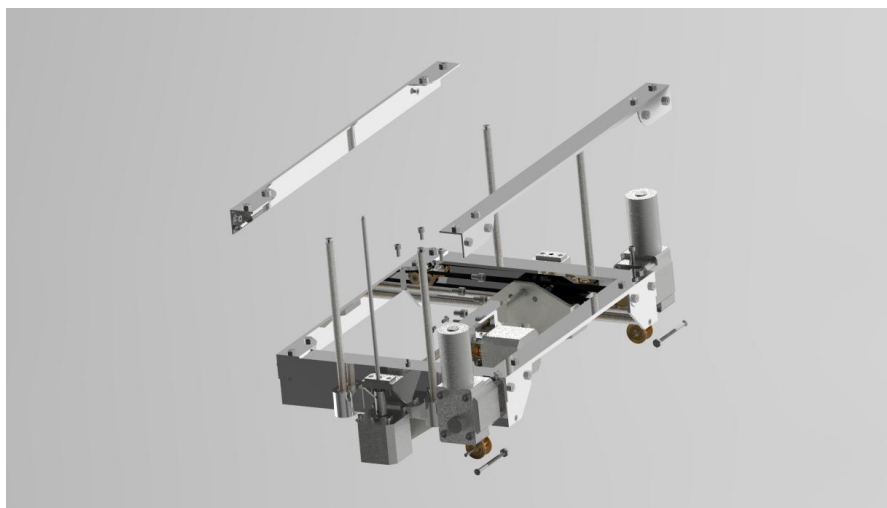
4.5. Τροποποίηση στους άξονες Z

Κατά τη σχεδίαση του εκτυπωτή, δεν δόθηκε έμφαση στη σταθεροποίηση των αξόνων που ευθύνονται για την κάθετη κίνηση του extruder κατά τον άξονα Z. Αυτό θα δημιουργούσε μία αστάθεια στη συνολική κίνηση του εκτυπωτή (Εικόνα 4.22.).



Εικόνα 4.22. Άξονες Z χωρίς στήριξη στο άνω μέρος

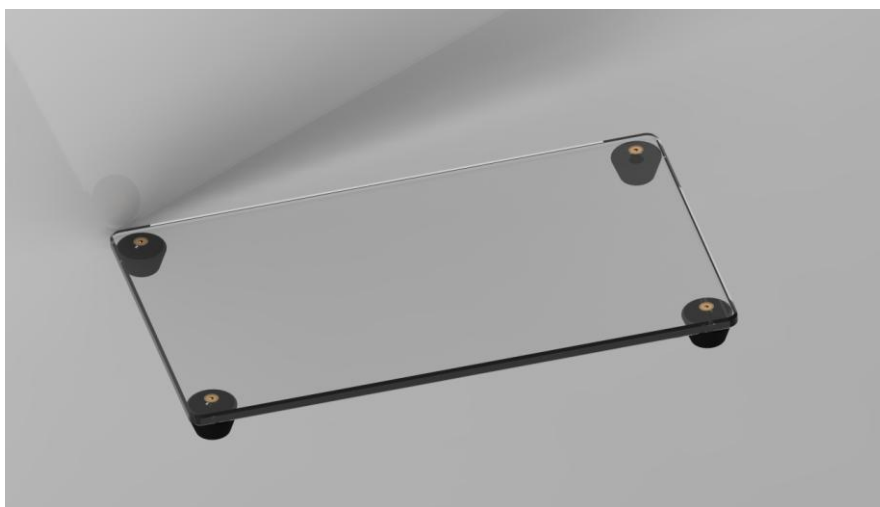
Στη παραπάνω εικόνα, παρατηρούμε τον μεσαίο άξονα ο οποίος έχει μία εξοχή με την οποία κουμπώνει στο καπάκι, αλλά, οι δύο ακριανοί άξονες είναι ουσιαστικά στον αέρα και δεν ακουμπούν πουθενά. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό, στους ακριανούς άξονες μπήκαν βίδες (Εικόνα 4.23.) οι οποίες τους συγκρατούν με το καπάκι. Με αυτή την παρέμβαση στους άξονες η κίνηση και η λειτουργία του εκτυπωτή είναι πιο σταθερή και ασφαλής, έχοντας μια πιο ακριβής εκτύπωση.



Εικόνα 4.23. Άξονες με προσθήκη στήριξης

4.6. Το τελικό σχέδιο

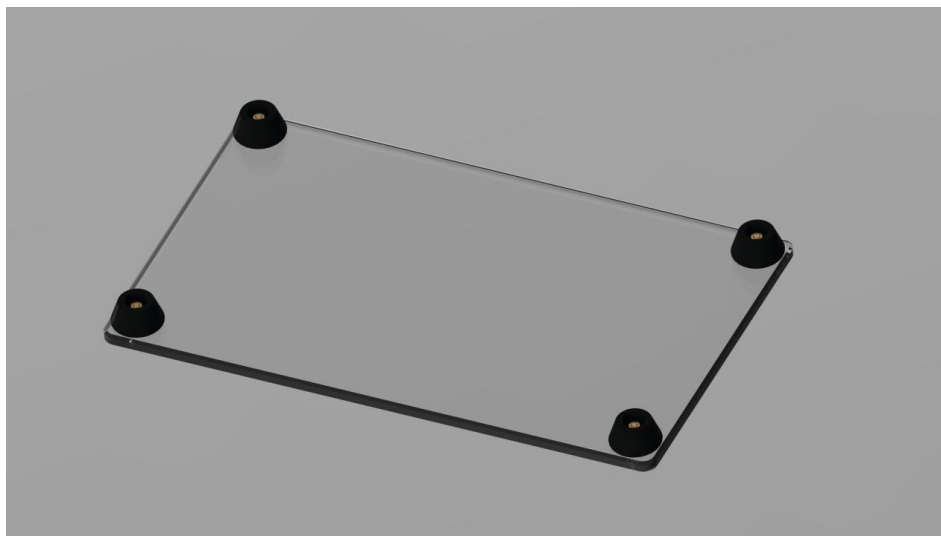
Λόγω των μειονεκτημάτων που αναφέρθηκαν στο παραπάνω υποκεφάλαιο και για την βελτιστοποίηση του αρχικού μοντέλου που σχεδιάστηκε, προστέθηκε η επιφάνεια εκτύπωσης η οποία παραμένει σταθερή, ενώ η κάθετη κίνηση κατά τον άξονα Z εξακολουθεί να εκτελείται όπως και πριν (Εικόνα 4.24.)



Εικόνα 4.24. Γυάλινη επιφάνεια εκτύπωσης

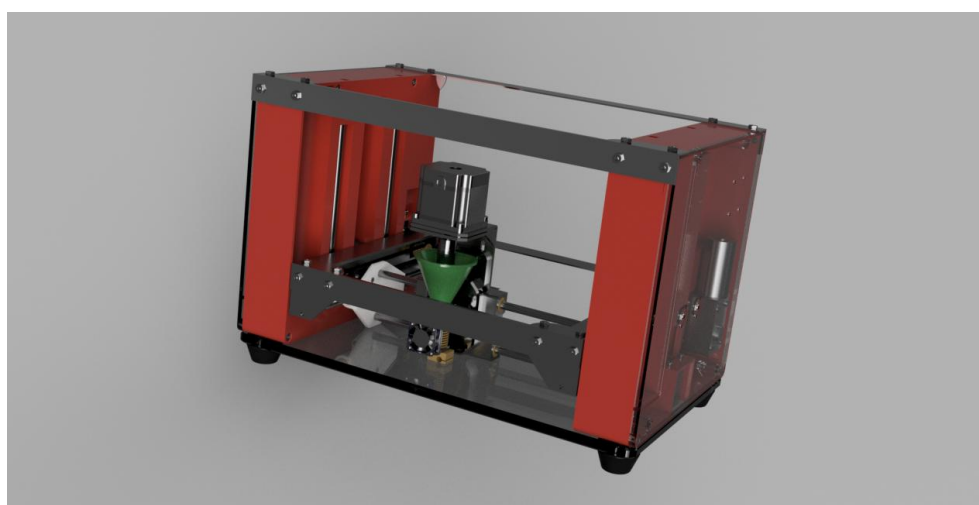
Η επιφάνεια εκτύπωσης επιλέχθηκε να είναι από βιοπυριτικό γυαλί έτσι ώστε να αντέχει τις απότομες εναλλαγές στη θερμοκρασία. Το κοινό γυαλί σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι η βέλτιστη επιλογή διότι οι απότομες αλλαγές στη θερμοκρασία το επηρεάζουν αρνητικά. Αυτή η επιλογή δεν αυξάνει το κόστος του εκτυπωτή.

Στην επιφάνεια του εκτυπωτή προστέθηκαν τέσσερις αντιολισθητικοί πλαστικοί αποστάτες έτσι ώστε να αυξηθεί κι άλλο η σταθερότητα του εκτυπωτή (Εικόνα 4.25.)



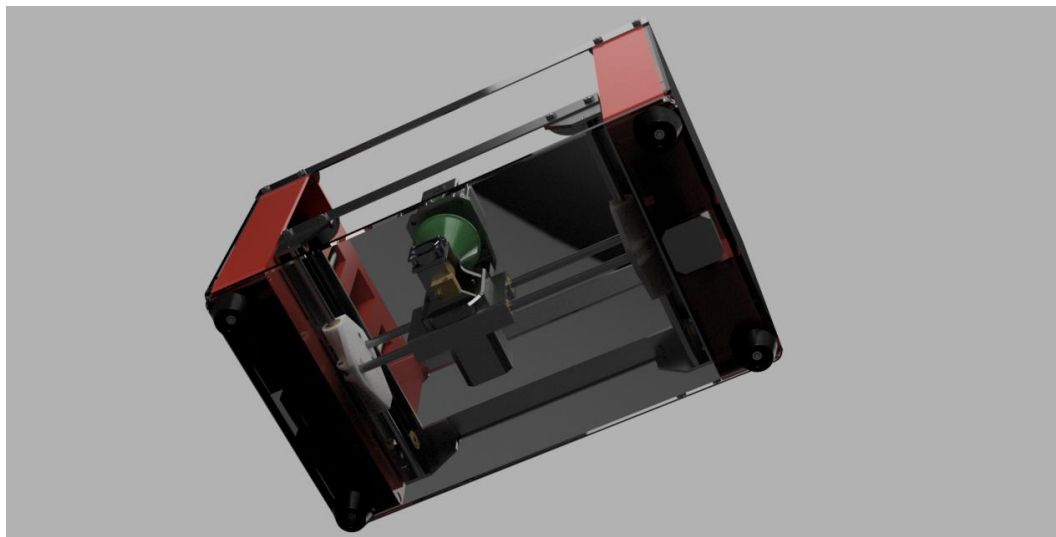
Εικόνα 4.25. Γυάλινη επιφάνεια εκτύπωσης με αντιολισθητικούς αποστάτες

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η τελική μορφή του σχεδίου (Εικόνα 4.26.).



Εικόνα 4.26. Τελική μορφή του σχεδίου με την προσθήκη της επιφάνειας εκτύπωσης

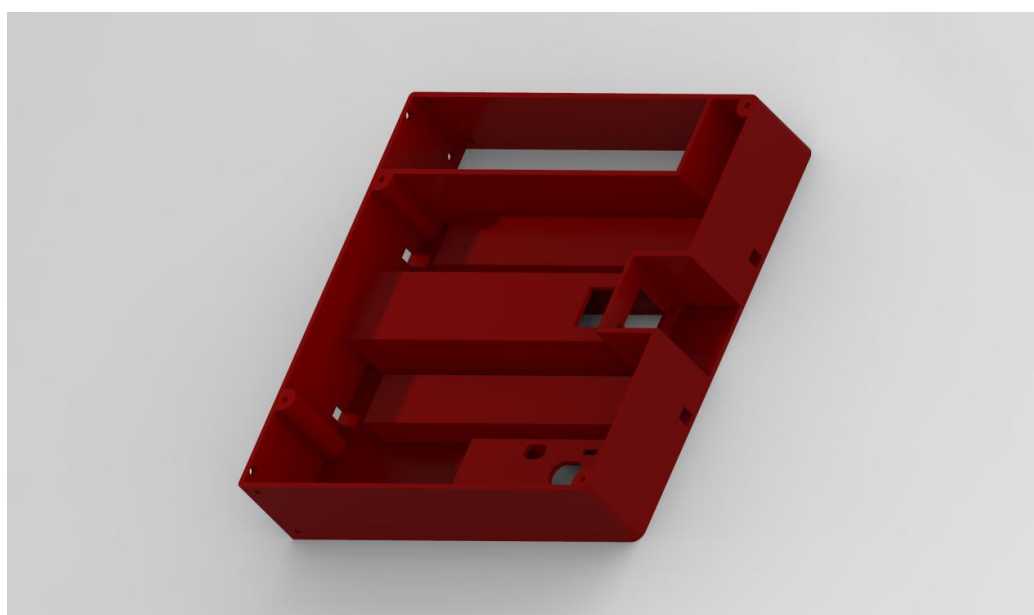
Όπως φαίνεται και στην ολοκληρωμένη παρουσίαση του τρισδιάστατου εκτυπωτή (Εικόνα 4.26. και Εικόνα 4.27.), ο εκτυπωτής καλύπτει τις προδιαγραφές ενός λειτουργικού, καλαίσθητου και συμμετρικού σε όλα τα σημεία του, μηχανήματος.



Εικόνα 4.27. Τελική μορφή του σχεδίου με την προσθήκη της επιφάνειας εκτύπωσης

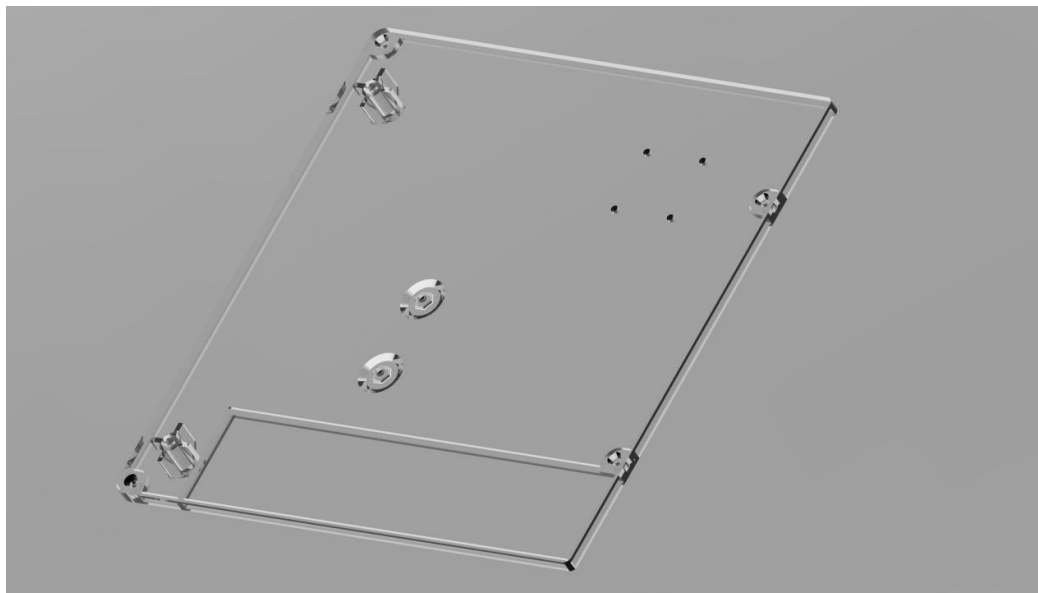
4.7. Επιμέρους εξαρτήματα και συνδεσμολογίες του εκτυπωτή

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται τα επιμέρους εξαρτήματα του εκτυπωτή καθώς και σημαντικές συνδεσμολογίες.



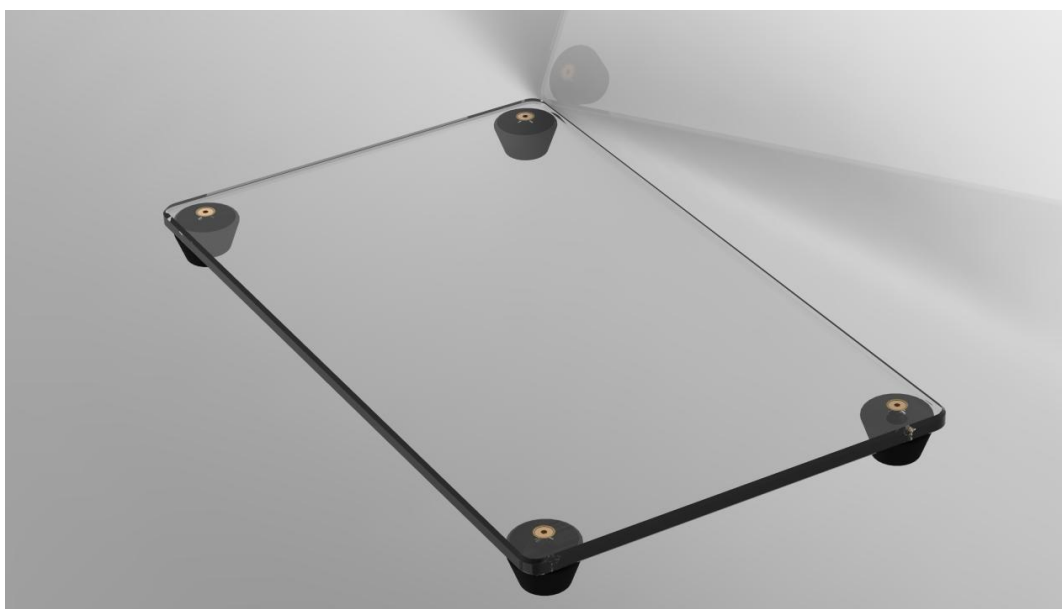
Εικόνα 4.28. Πλαϊνό καπάκι του εκτυπωτή

Στα πλαϊνά μέρη του εκτυπωτή υπάρχει ένα αλουμινένιο καπάκι που καλύπτει τους κάθετους άξονες αλλά και τους κινητήρες (Εικόνα 4.28.) και ένα εξωτερικό γυάλινο διαφανές καπάκι που κουμπώνει στο καπάκι αλουμινίου (Εικόνα 4.29.).



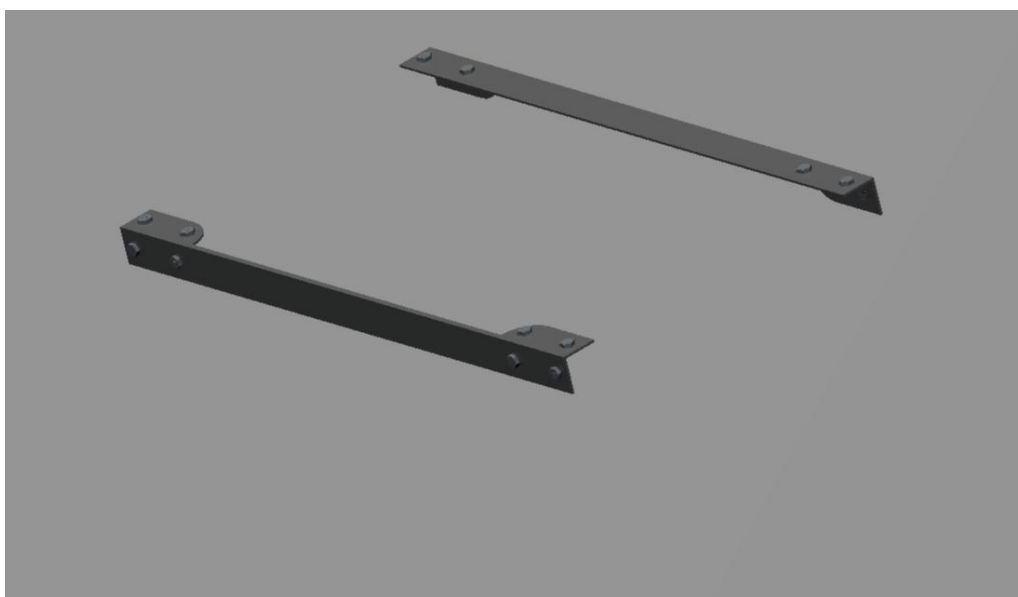
Εικόνα 4.29. Διαφανές πλαίσιο

Παρακάτω παρουσιάζεται η γυάλινη επιφάνεια εκτύπωσης (Εικόνα 4.30.).



Εικόνα 4.30. Επιφάνεια εκτύπωσης

Τα δύο πλαϊνά μέρη του εκτυπωτή συγκρατούνται στη πάνω μεριά με δύο ελάσματα (Εικόνα 4.31.) .

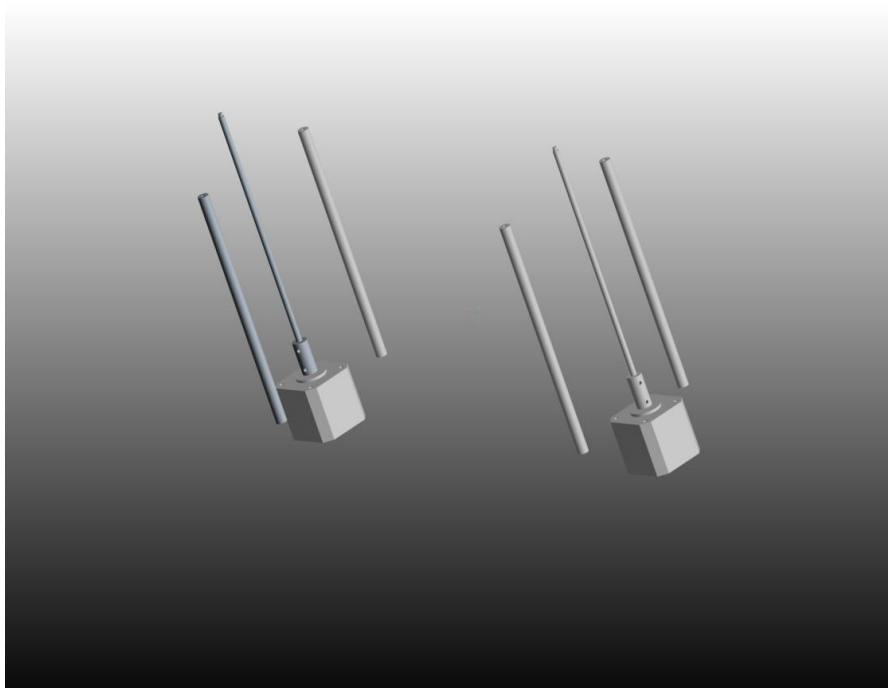


Εικόνα 4.31. Ελάσματα που ενώνουν το δεξί με το αριστερό μέρος του εκτυπωτή

Η κάθετη κίνηση πραγματοποιείται με την βοήθεια τριών κάθετων αξόνων (Εικόνα 4.32.) και των κινητήρων που ωθούν την κίνηση (Εικόνα 4.33.).

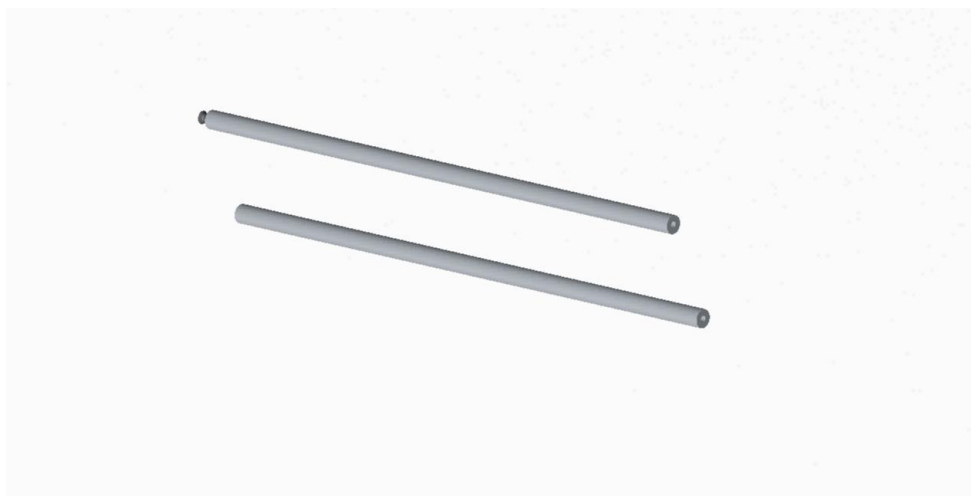


Εικόνα 4.32. Κάθετοι άξονες για την κίνηση στον άξονα των Z



Εικόνα 4.33. Κάθετοι άξονες με τους κινητήρες

Για την κίνηση στον άξονα των X τοποθετήθηκαν δύο άξονες (Εικόνα 4.34.).



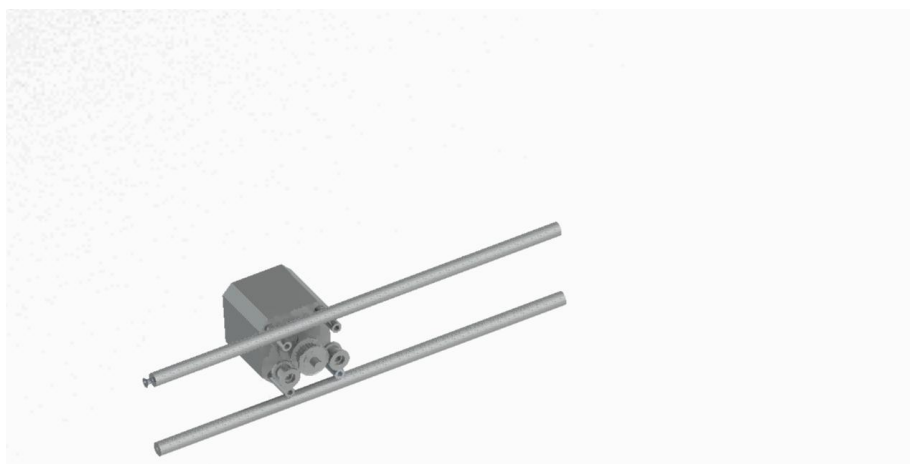
Εικόνα 4.34. Άξονες για την κίνηση στον άξονα των X

Επάνω σε αυτούς τους άξονες υπάρχει μία βάση στην οποία κουμπώνει με βίδες η βάση του extruder (Εικόνα 4.35.).



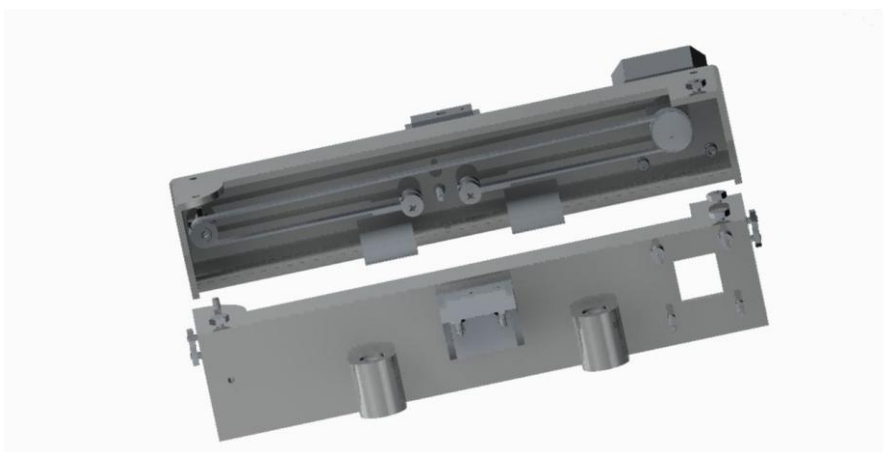
Εικόνα 4.35. Βάση στην οποία συνδέεται η βάση του extruder

Πίσω από την βάση αυτή είναι τοποθετημένος ένας κινητήρας ο οποίος ευθύνεται για την κίνηση στον άξονα X (Εικόνα 4.36.).



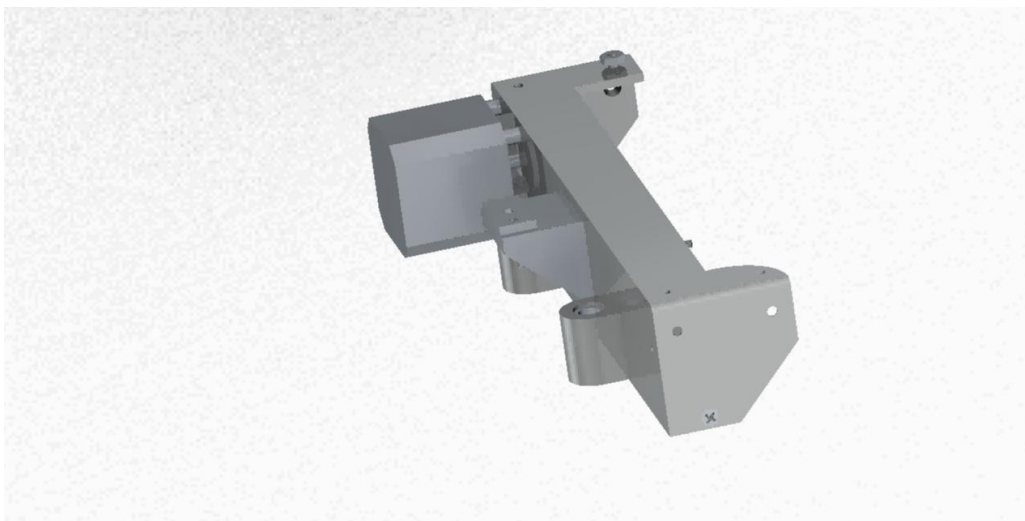
Εικόνα 4.36. Κίνηση στον άξονα των X

Παρακάτω παρουσιάζεται η συνδεσμολογία που ευθύνεται για την κίνηση στον άξονα Y (Εικόνα 4.37.).

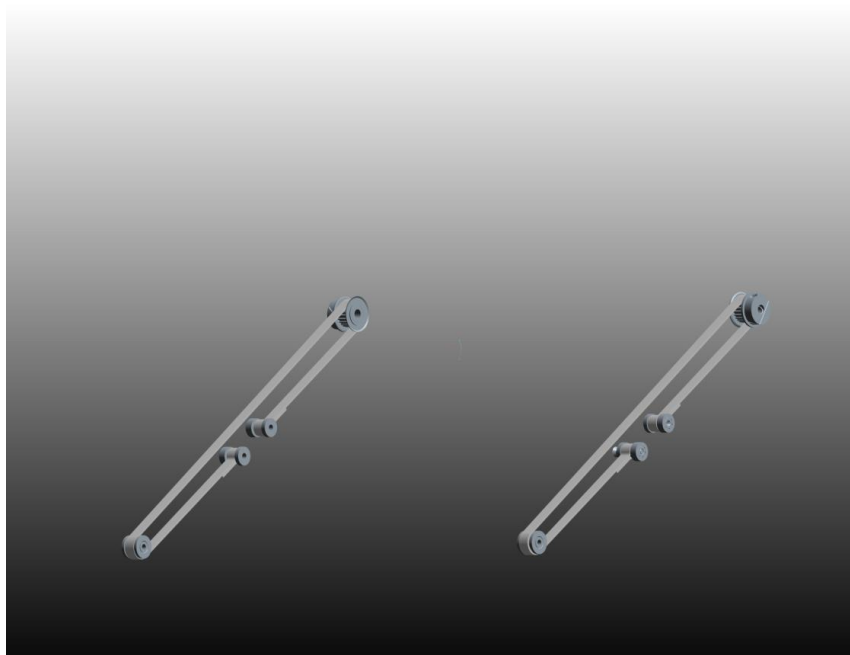


Εικόνα 4.37. Κίνηση στον άξονα των Y

Η κίνηση αυτή πραγματοποιείται μέσω ενός βηματικού κινητήρα (Εικόνα 4.38.) ο οποίος κινεί δύο ρουλεμάν τα οποία ενώνονται με ένα λουρί (Εικόνα 4.39.)

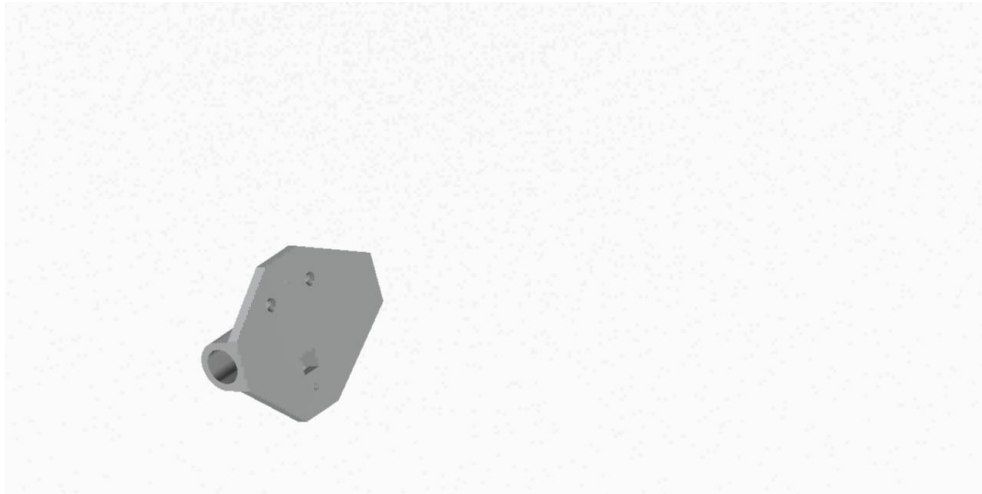


Εικόνα 4.38. Κίνηση στον άξονα των Y



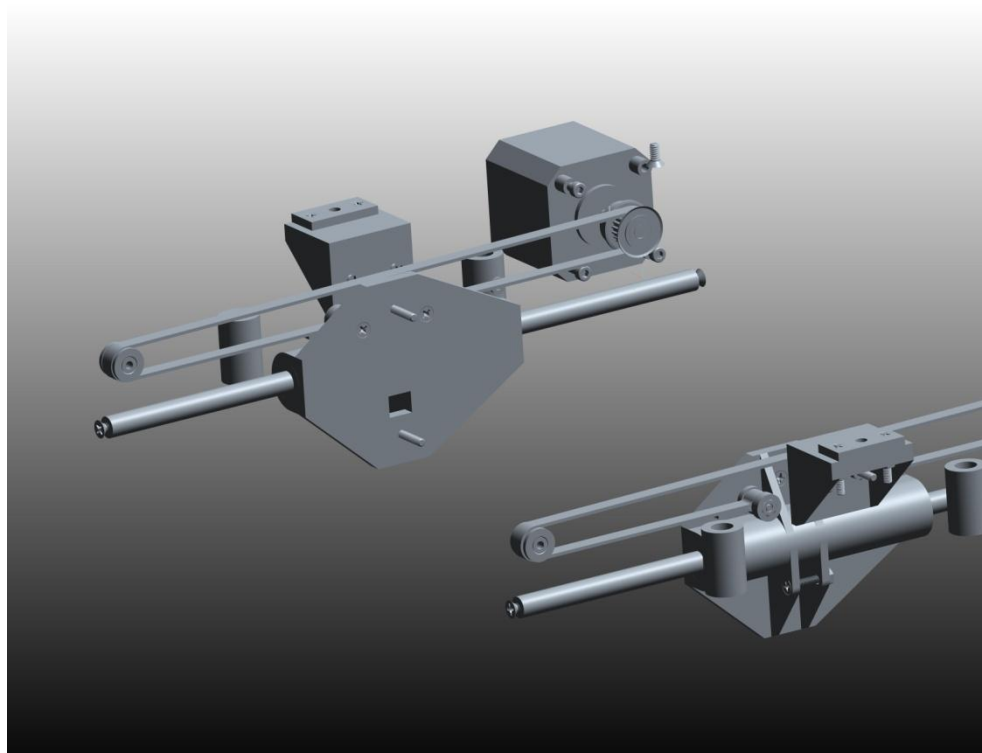
Εικόνα 4.39. Τεντοτήρες και ρουλεμάν

Η σύνδεση των κινήσεων στο X άξονα και στο Y άξονα γίνεται με μία βάση η οποία ενώνει του άξονες X με τους άξονες Y (Εικόνα 4.40.)



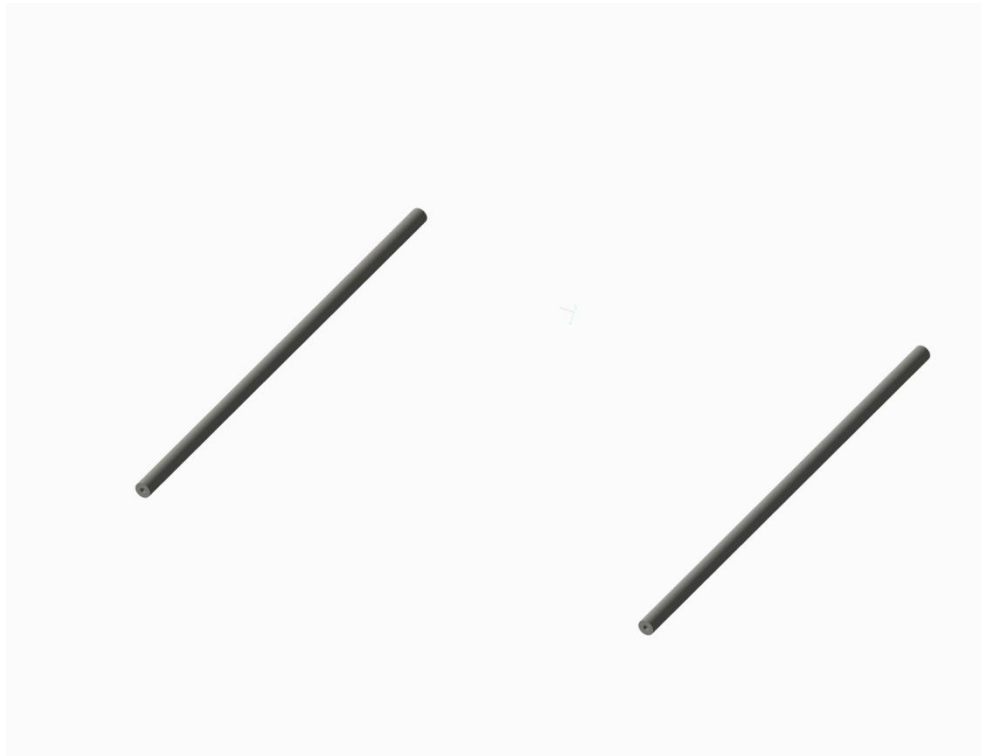
Εικόνα 4.40. Πλαϊνή βάση στήριξης

Η βάση αυτή είναι τοποθετημένη επάνω στον άξονα Υ όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.41.) και κινείται κατά μήκος αυτού.



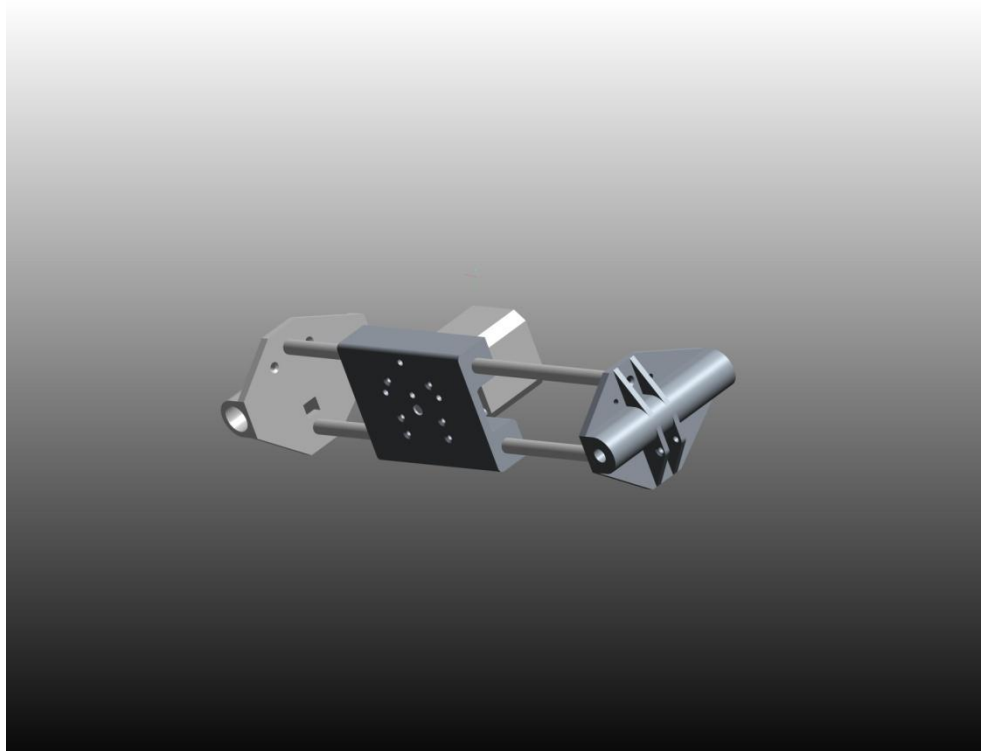
Εικόνα 4.41. Κίνηση στον άξονα των Υ

Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούνται οι άξονες στους οποίους γίνεται η κίνηση Υ (Εικόνα 4.42.).

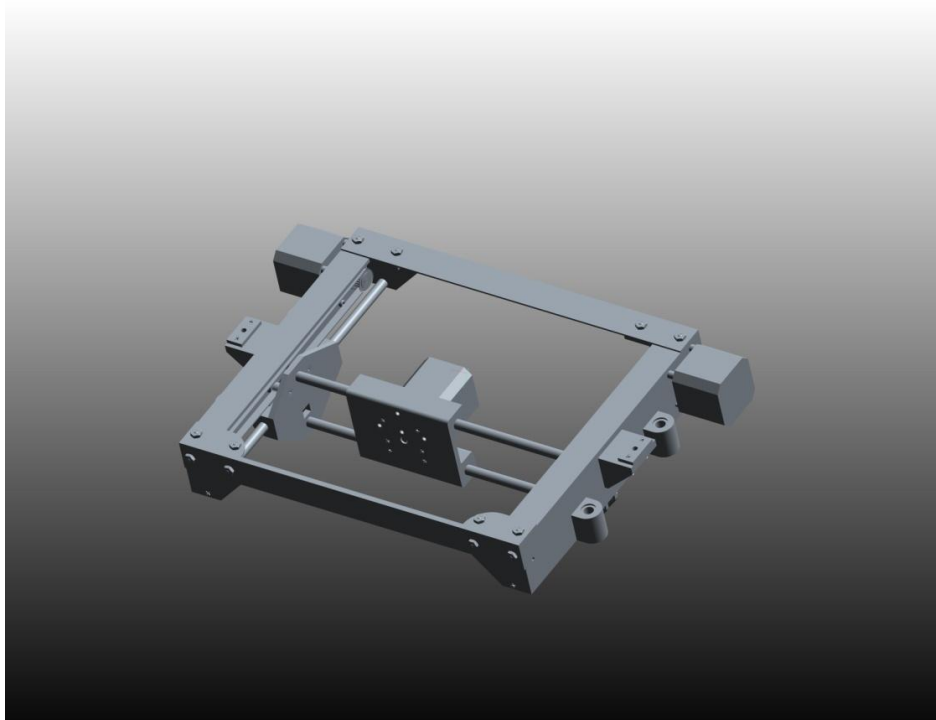


Εικόνα 4.42. Άξονες για την κίνηση κατά τον άξονα των Y

Στη συνέχεια φαίνεται πως συνδέονται οι άξονες X με τους άξονες Y (Εικόνα 4.43.)



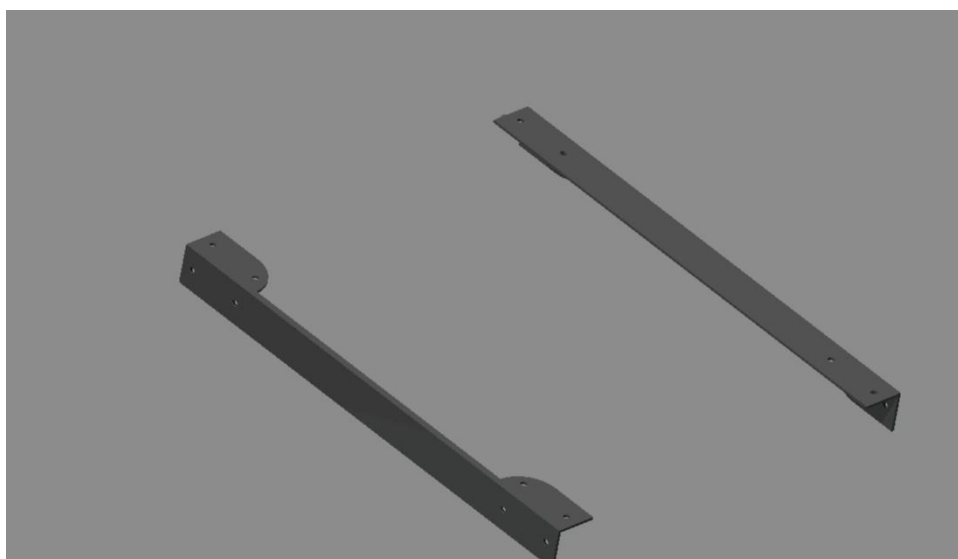
Εικόνα 4.43. Χρήση βάσεων και κίνηση στον άξονα των X



Εικόνα 4.44. Μεσαίο τμήμα του εκτυπωτή

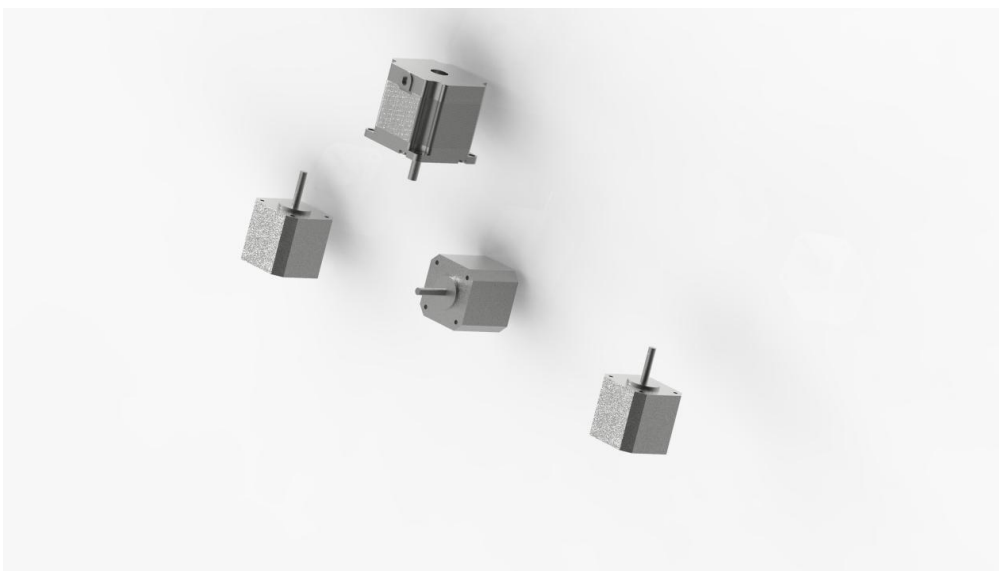
Στην εικόνα 4.44. φαίνεται το μεσαίο τμήμα του εκτυπωτή και πως εκτελούνται οι κινήσεις X και Y.

Παρακάτω φαίνονται τα κάτω ελάσματα που συγκρατούν τα πλαϊνά μέρη του εκτυπωτή (Εικόνα 4.45.).

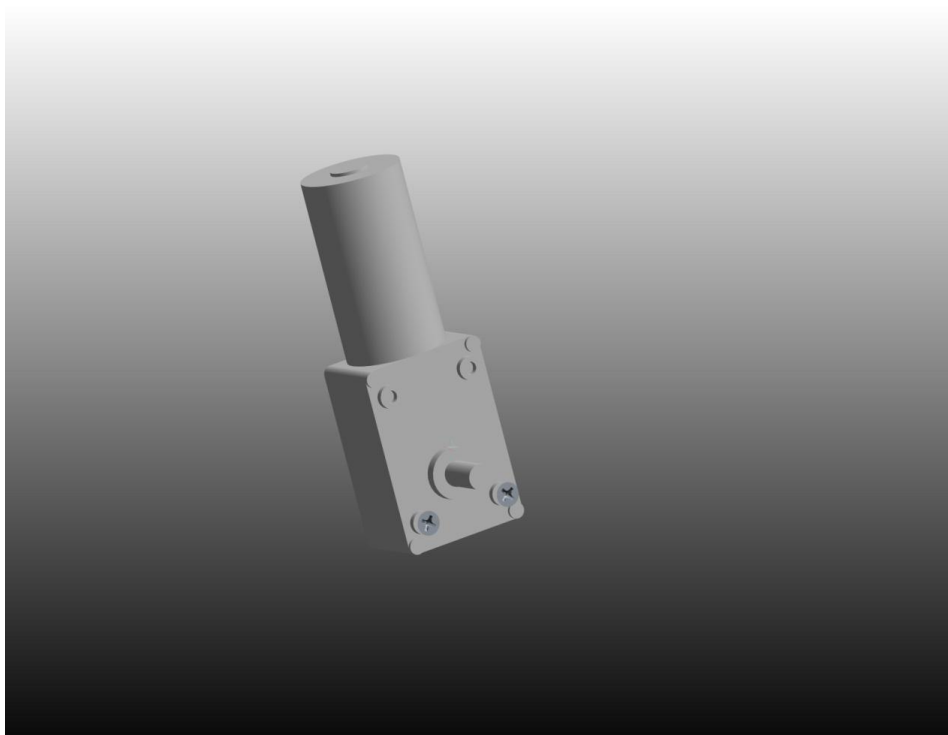


Εικόνα 4.45. Κάτω ελάσματα που ενώνουν το δεξί με το αριστερό μέρος του εκτυπωτή

Οι κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στον εκτυπωτή είναι βηματικοί. Παρακάτω φαίνονται οι κινητήρες οι οποίοι ευθύνονται για την κίνηση στον άξονα Z, ο κινητήρας για τον άξονα X και ο κινητήρας του extruder (Εικόνα 4.46.). Έπειτα από τους βηματικούς κινητήρες φαίνεται το θερμαινόμενο μοτέρ το οποίο κινεί τον extruder κατά τον Y άξονα (Εικόνα 4.47.).

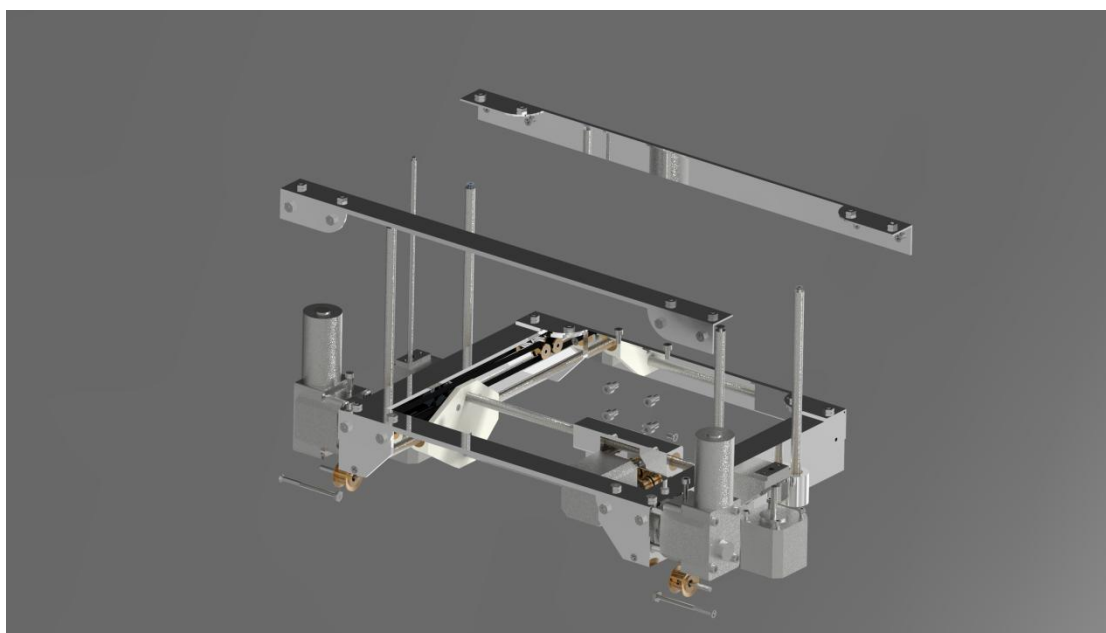


Εικόνα 4.46. Βηματικοί κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στον εκτυπωτή



Εικόνα 4.47 Θερμαινόμενο μοτέρ

Παρακάτω φαίνεται το σασί του εκτυπωτή και τα μεταλλικά του μέρη (Εικόνα 4.48.)



Εικόνα 4.48. Σασί του εκτυπωτή

4.8. Προβλήματα και κρίσιμα σημεία στον σχεδιασμό

Κατά την φάση σχεδιασμού ενός μεγάλου συνόλου μοντέλων, προκύπτει ένα κρίσιμο ζήτημα. Και αυτό είναι το πόσο γρήγορα και άμεσα μπορεί να επέλθει η αλλαγή και η τροποποίηση ορισμένων δεδομένων ύστερα από την ανάδραση με τις πληροφορίες που γίνονται γνωστές και αφορούν το project. Αναμφισβήτητα ρόλο παίζει η υπολογιστική ισχύς του υπολογιστή στον οποίον πραγματοποιείται η ανάλυση.

Στην περίπτωση ανεπανόρθωτων λαθών (fatal errors), αυτά αντιμετωπίζονται σε ορισμένες περιπτώσεις με τροποποίηση άρδην του σχεδιασμού, μέχρι να είναι πλήρως λειτουργικά τα αντικείμενα. Συνεπώς, από τα παραπάνω προκύπτει, πως ο σχεδιασμός πρωτότυπων χρειάζεται συνεχώς την πραγματοποίηση ελέγχων, τόσο λειτουργικότητας, όσο και συμβατότητας.

Κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της παρούσας σχεδιομελέτης αντιμετωπίστηκαν κάποιες δυσκολίες.

Αρχικά, πριν ακόμη ξεκινήσει η διαδικασία του σχεδιασμού η κυριότερη δυσκολία ήταν σε πια σημεία θα διαφοροποιηθεί το συγκεκριμένο μοντέλο από τα προηγούμενα μοντέλα και πως θα τα βελτιστοποιήσει.

Έπειτα, αφού εντοπίστηκαν τα σημεία αυτά, η επόμενη δυσκολία που αντιμετωπίστηκε ήταν ποια μορφή θα έχει ο extruder έτσι ώστε να μπορεί σε μελλοντική κατασκευή του να είναι συμβατός και με άλλους εκτυπωτές. Κάτι τέτοιο θα αύξανε την ζήτηση του.

Ζητούμενα σε τέτοιου είδους σχεδιομελέτες είναι κατά πόσο λειτουργικό θα είναι το μηχάνημα, τι ανάγκες εξυπηρετεί και σε τι χρήστες θα απευθύνεται. Οι παράμετροι αυτοί έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη σχεδίαση όλου του εκτυπωτή.

Πρακτικές δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν ήταν οι διαστάσεις του extruder αλλά και του εκτυπωτή. Αρχικά ο extruder βγήκε μεγάλος σε μέγεθος. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα μια συνολική δυσλειτουργία του εκτυπωτή καθώς λόγω μεγέθους, η κίνηση κατά τον άξονα X δεν θα γινόταν ολοκληρωμένη. Έτσι τροποποιήθηκαν οι διαστάσεις του εκτυπωτή κατά αυτή την κατεύθυνση.

Ένα άλλο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε στο σχεδιασμό είναι η μορφή της βάσης στήριξης extruder. Η βάση στήριξης έπρεπε είναι σχεδιασμένη για να κρατάει τον κινητήρα σε ένα συγκεκριμένο ύψος ώστε να μην εμποδίζει την τροφοδοσία του υλικού και να μην επηρεάζει το κέντρο βάρους του extruder λόγω του βάρους του. Ακόμη, βασική προϋπόθεση για τον σχεδιασμό της, ήταν η στιβαρότητα η οποία θα έπρεπε να έχει καθώς όλα τα εξαρτήματα του extruder είναι στηριγμένα πάνω της.

Σημαντικό πρόβλημα υπήρξε ο τρόπος με τον οποίο θα τροφοδοτείται το υλικό στον extruder. Αυτό ωστόσο επιλύθηκε καθώς η τροφοδοσία μπορεί να επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας μικρής σέσουλας η ακόμη και ενός κουταλιού.

4.9. Υλικά τα οποία επιλέχτηκαν για τη κατασκευή του εκτυπωτή

Τα υλικά τα οποία επιλέχτηκαν για την κατασκευή του τρισδιάστατου εκτυπωτή σχετικά με το κομμάτι του σκελετού είναι το αλουμίνιο και το γυαλί.

Το αλουμίνιο επιλέχτηκε ως η βέλτιστη επιλογή για να κατασκευαστούν τα μεταλλικά μέρη. Ο λόγος είναι ότι το αλουμίνιο σαν μέταλλο είναι ελαφρύ με πυκνότητα στο ένα τρίτο του χάλυβα. Αυτό αυτομάτως κάνει την κατασκευή πιο ελαφριά. Είναι ισχυρό με αντοχή εφελκυσμού από 70 έως 700 MPa, ανάλογα με το κράμα και τη διαδικασία κατασκευής. Διελάσεις του σωστού κράματος και σχεδιασμού είναι τόσο ισχυρές όσο

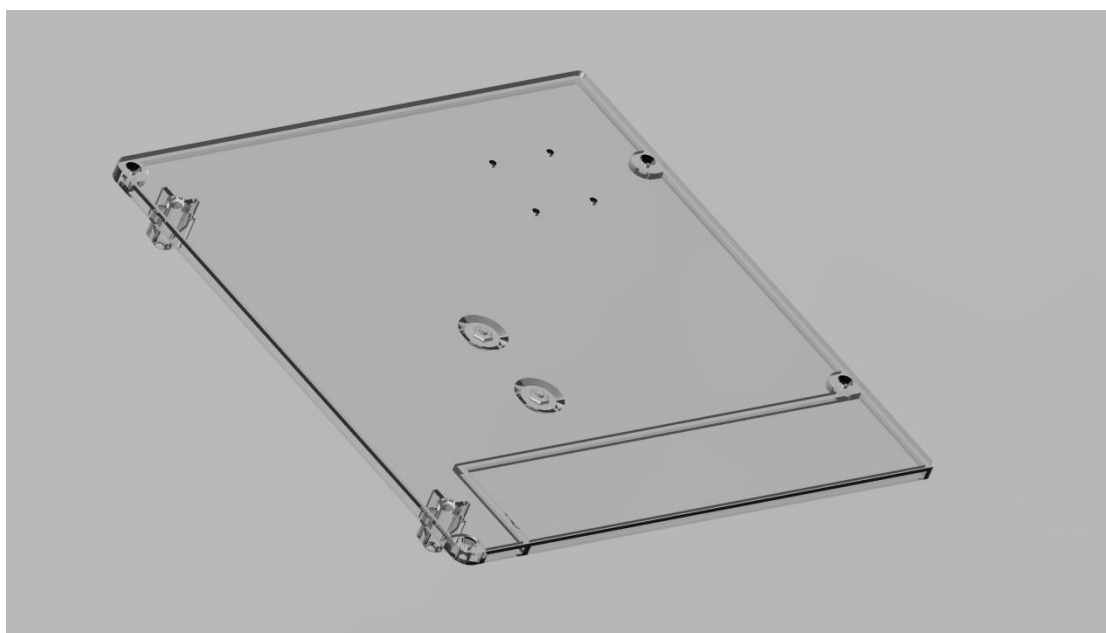
ο δομικός χάλυβας. Το αλουμίνιο επίσης παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στη διάβρωση άρα κάνει και τη κατασκευή πιο ανθεκτική στο χρόνο.

Το γυαλί στο σκελετό επιλέχτηκε καθαρά για λόγους αισθητικούς. Καθώς στο σημείο στο οποίο είναι τοποθετημένο δεν παρουσιάζονται εναλλαγές απότομες στη θερμοκρασία, χρησιμοποιήθηκε κοινό γυαλί (Εικόνα 4.48.)



Εικόνα 4.49. Γυάλινο πλαίσιο εκτυπωτή

Το κοινό γυαλί επίσης είναι οικονομικό και δεν αυξάνει το κόστος κατασκευής (Εικόνα 4.50.)



Εικόνα 4.50. Γυάλινο πλαίσιο

Οι άξονες στους οποίους κινείται επάνω extruder κατά την κίνηση και στους τρεις άξονες X, Y, Z είναι από ατσάλι λόγω της υψηλής αντοχής που έχει το ατσάλι και της υψηλής σκληρότητας του.

4.10. Εκτιμώμενο κόστος εκτυπωτή

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1.) παρουσιάζεται το εκτιμώμενο κόστος του εκτυπωτή της παρούσας σχεδιομελέτης σε περίπτωση μελλοντικής δημιουργίας του. Το κόστος αυτό προέκυψε μετά από έρευνα αγοράς που έγινε σχετικά με τις τρέχουσες τιμές που υπάρχουν για τα υλικά και τα εξαρτήματα τα οποία επιλέχθηκαν για τον εκτυπωτή.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΤΥΠΩΤΗ		
Εξαρτήματα	Κόστος	
Πλαίσιο αλουμινίου	100,00 €	
Πλαίσιο γυαλιού	45,00 €	
Extruder	Κινητήρας	50,00 €
	Χωνί	10,00 €
	Αντάπτορας	5,00 €
	Άξονας	10,00 €
	Ανεμιστηράκι	15,00 €
	Hot end	40,00 €
Επιφάνεια εκτύπωσης	35,00 €	
Βηματικοί κινητήρες	50,00 €	
Βίδες - Παξιμάδια	5,00 €	
Συνολικό κόστος	365,00 €	

Πίνακας 4.1. Εκτιμώμενο κόστος εκτυπωτή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. Συμπεράσματα που προέκυψαν από την σχεδιομελέτη

Εφόσον η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει γίνει ένα χρήσιμο εργαλείο για τη λύση διαφόρων προβλημάτων που προκύπτουν σε πολλούς τομείς, η βελτιστοποίηση των εκτυπωτών και η εξέλιξη τους είναι φυσικό επόμενο. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε σχεδιασμός ενός ιδιαίτερου τύπου τρισδιάστατου εκτυπωτή, ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή που χρησιμοποιεί το υλικό όχι σε μορφή νήματος αλλά σε μορφή πλαστικών σφαιριδίων (masterbatch).

Με το υλικό να βρίσκεται στην πρωταρχική του μορφή και να επεξεργάζεται ουσιαστικά απευθείας στον ίδιο τον εκτυπωτή, κάνει την διαδικασία οικονομικότερη καθώς το υλικό στην πρωταρχική του μορφή κοστίζει φθηνότερα. Επίσης, με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται και η ανακύκλωση του υλικού αφού ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει και περισσεύματα.

Η παρούσα σχεδιομελέτη παρουσιάζει ένα βελτιστοποιημένο μοντέλο τρισδιάστατου εκτυπωτή με χρήση pellet. Η διαφορά από τα ήδη υπάρχοντα μοντέλα έγκειται στην συμμετρική κατασκευή του extruder, στο δοχείο υποδοχής του υλικού και γενικότερα στη καινοτόμα σχεδίαση του αλλά και στην κάθετη κίνηση κατά τον άξονα Z που γίνεται από τους κινητήρες στην κάτω πλευρά του εκτυπωτή.

5.2. Προτάσεις για μελλοντική βελτιστοποίηση του εκτυπωτή

Ο 3D εκτυπωτής που σχεδιάστηκε στη παρούσα σχεδιομελέτη είναι ένα βελτιστοποιημένο μοντέλο από τα ήδη υπάρχοντα που κυκλοφορούν στην αγορά. Ωστόσο αυτό δεν σημαίνει ότι και το μοντέλο αυτό δε επιδέχεται βελτιώσεις.

Παρακάτω θα αναφέρονται κάποιες προτάσεις για βελτιστοποίηση του εκτυπωτή

- Σχετικά με την τοποθέτηση του κινητήρα του extruder, θα μπορούσε ο κινητήρας να τοποθετηθεί σε υψηλότερο σημείο έτσι ώστε να διευκολύνεται η τροφοδοσία του υλικού στο δοχείο υποδοχής
- Βελτιστοποίηση ακόμη επιδέχεται και το ίδιο το δοχείο υποδοχής καθώς θα μπορούσε να έχει μια πιο τετράγωνη μορφή και όσο κατέβαινε προς τα κάτω να

γινόταν πιο κωνική η διατομή του. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα να χωράει περισσότερο υλικό και το υλικό να τοποθετείται πιο εύκολα από το χρήστη.

- Ο σκελετός του εκτυπωτή θα μπορούσε να έχει μεγαλύτερο ύψος έτσι ώστε από πάνω να κλείνει με κάποιο καπάκι χωρίς να χτυπάει κατά την κίνηση του ο extruder.
- Μπορούν να επιλεγθούν άλλα υλικά κατασκευής. Για παράδειγμα όσο αναφορά τα μεταλλικά μέρη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σίδηρο. Αυτή η επιλογή αν και αυξάνει το βάρος, ρίχνει κατά πολύ το κόστος κατασκευής λόγω του ότι το σίδηρο είναι φθηνότερο από το ατσάλι. Επίσης στα πλαϊνά σημεία μπορεί το γυαλί να αντικατασταθεί με Plexiglas. Πρόκειται για πολύ φθηνότερο υλικό σε σύγκριση με το γυαλί. Βασικό πλεονέκτημα του είναι ότι είναι πιο ελαφρύ αφού ένα φύλλο ίσων διαστάσεων Plexiglass αντιστοιχεί με το 50% του βάρους ενός φύλλου γυαλιού. Γενικά συγκρίνοντας τα δύο υλικά, το plexiglass φαίνεται να έχει περισσότερα πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα ως προς την ανθεκτικότητα. Το μόνο μειονέκτημα του έναντι του γυαλιού είναι η χαμηλότερης ποιότητας διαφάνεια και η εύκολη έκθεση του σε γρατσουνιές, οι οποίες πολλές φορές είναι αναπόφευκτες με την πάροδο του χρόνου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσσα Βιβλιογραφία

1. Αναστασοπούλου, Α., 2015. *Τρισδιάστατοι Εκτυπωτές και Εφαρμογές τους στην Βιοϊατρική Τεχνολογία*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
2. Ζακυνθινός, Γ., 2015. *Σχεδίαση και Υλοποίηση Συστήματος Ελέγχου Τρισδιάστατου Εκτυπωτή Χαμηλού Κόστους*. Ηράκλειο: ΤΕΙ Κρήτης
3. Καρποντίνης, Ι., Λασαλάντρα, Α., 2017. *Τρισδιάστατη Εκτύπωση*. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Πειραιά.
4. Κουκουλάκης, Δ., 2016. *Εισαγωγή στην 3D Εκτύπωση*. Αθήνα: Commons Lab – Εργαστήριο ανοικτής τεχνολογίας
5. Λαζανάς, Χ., Ηλιόπουλος, Α., 2014. *Σχεδιασμός και Μελέτη ενός Τρισδιάστατου Εκτυπωτή 3D printer Μεγάλων Διαστάσεων*. Πάτρα: ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας
6. Μαγουλάκης, Κ., 2018. *Βελτιστοποίηση Μηχανής Extruder Εξώθησης A.B.S. Πλαστικού*. Ηράκλειο: ΤΕΙ Κρήτης
7. Μιχαλοδημητράκη, Ν., 2015. *Διερεύνηση Παραμέτρων Ταχείας Προτυποποίησης και Συναρμολόγηση Τρισδιάστατου Εκτυπωτή*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
8. Σιδηρόπουλος, Χ., Ξανθοπούλου, Α., 2013. *Εκτυπωτής Τρισδιάστατων Αντικειμένων*. Καβάλα: ΤΕΙ Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.
9. Wikipedia, en.wikipedia.org, “Τρισδιάστατη εκτύπωση - Wikipedia”, διαθέσιμο στο https://el.m.wikipedia.org/wiki/Τρισδιάστατη_εκτύπωση [Πρόσβαση 18/08/2019]

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

1. Autodesk, www.autodesk.com, “Fusion 360”, διαθέσιμο στο <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview#banner> [Πρόσβαση 19/09/2019]
2. Direct 3D, www.direct3d.it, “Direct 3D Pellet Extruder”, διαθέσιμο στο <https://www.direct3d.it> [Πρόσβαση 24/7/2019]
3. Durham, M., Grimm, T., Rollins, T., 1996. *SLS and SLA: Different Technologies for Different Applications*. Accelerated Technologies.
4. Hornick, J., 2015. *3D Printing Will Rock The World*. South Carolina: CreateSpace Independent Publishing Platform
5. IUBMB Journals, iubmb.onlinelibrary.wiley.com, “Three-dimensional printing of human skeletal muscle cells: An interdisciplinary approach for studying biological systems” διαθέσιμο στο <https://iubmb.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/bmb.20891> [Πρόσβαση 10/08/2019]
6. Just make it, www.justmakeit.gr, “Καινοτομίες και πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης” διαθέσιμο στο <https://www.justmakeit.gr/2016/kainotomies-kai-pleonektimata-tis-tr> [Πρόσβαση 04/08/2019]
7. Lam., S., Mo, X., Teoh, S., Hutmacher, D., 2002. Scaffold development using 3D printing with a starch-based polymer. *Materials Science and Engineering: C*, 20 (1-2), pp 49-56
8. Lipson, H., Kurman, M., 2013. *Fabricated: The New World of 3D Printing*. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc.
9. Mukund, J., Shetty, N., Shetty, D., Bharath, N., Surapanemi., C., 2016. Mechanical Characterization of Additive Manufacturing Processes. *Indian Journal of Science and Technology*, 9 (36)

10. RepRap, www.reprap.org, “Darwin”, διαθέσιμο στο <https://reprap.org/wiki/Darwin> [Πρόσβαση 19/08/2019]
11. RepRap, www.reprap.org, “Mendel”, διαθέσιμο στο <https://reprap.org/wiki/Mendel> [Πρόσβαση 19/08/2019]
12. RepRap, www.reprap.org, “Prusa Mendel”, διαθέσιμο στο https://reprap.org/wiki/Prusa_Mendel [Πρόσβαση 19/08/2019]
13. RepRap, www.reprap.org, “RepRapPro Mendel”, διαθέσιμο στο https://reprap.org/wiki/RepRapPro_Mendel [Πρόσβαση 19/08/2019]
14. RepRap, www.reprap.org, “RepRapPro Huxley”, διαθέσιμο στο https://reprap.org/wiki/RepRapPro_Huxley [Πρόσβαση 19/08/2019]
15. ResearchGate, www.researchgate.net, “Three-Dimensional Printing of Human Skeletal Muscle Cells: An Interdisciplinary Approach for Studying Biological Systems”, διαθέσιμο στο https://www.researchgate.net/publication/281608557_Three-Dimensional_Printing_of_Human_Skeletal_Muscle_Cells_An_Interdisciplinary_Approach_for_Studying_Biological_Systems [Πρόσβαση 21/07/2019]
16. Sculpteo, www.sculpteo.com, “3D Printers and 3D Printing: Technologies, Processes and Techniques” διαθέσιμο στο <https://www.sculpteo.com/en/3d-printing/3d-printing-technologies/> [Πρόσβαση 19/07/2019]
17. The Guardian, www.theguardian.com, “Will 3D Printing Solve the Organ Transplant Shortage?” διαθέσιμο στο <https://www.theguardian.com/technology/2017/jul/30/will-3d-printing-solve-the-organ-transplant-shortage> [Πρόσβαση 10/07/2019]
18. Universal Pellet Extruder, upe3d.blogspot.com, “Universal Pellet extruder”, διαθέσιμο στο <http://upe3d.blogspot.com> [Πρόσβαση 25/07/2019]
19. Wikipedia, en.wikipedia.org, “3D Printing - Wikipedia”, διαθέσιμο στο https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing [Πρόσβαση 17/8/2019]

20. Wikipedia, en.wikipedia.org, “Acrylonitrile butadiene styrene - Wikipedia”, διαθέσιμο στο https://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene [Πρόσβαση 16/08/2019]
21. Wikipedia, en.wikipedia.org, “ PTC Creo - Wikipedia”, διαθέσιμο στο https://en.wikipedia.org/wiki/PTC_Creo [Πρόσβαση 13/8/2019]
22. Youtube, www.youtube.com, “Direct3D Pellet Extruder - Lots of different materials and applications” διαθέσιμο στο <https://www.youtube.com/watch?v=OainfmM99fI> [Πρόσβαση 24/07/2019]
23. Youtube, www.youtube.com, “Pellet Extruder for 3D PRINTER HOTEND”, διαθέσιμο στο <https://www.youtube.com/watch?v=Wx7GugDZOx4&t=843s> [Πρόσβαση 29/07/2019]